



Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Τμήμα Γεωγραφίας

*Τεχνικές Τηλεπισκόπησης
και
Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών*

*Εφαρμογή στην ανάλυση της ρηξιγενούς δομής της ευρύτερης
περιοχής του Ταϋγέτου*



Πτυχιακή Εργασία της *Καρβέλας Βασιλικής*

Αθήνα, Ιούλιος 2010



**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Τμήμα Γεωγραφίας**

Τεχνικές Τηλεπισκόπησης

και

Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

***Εφαρμογή στην ανάλυση της ρηξιγενούς δομής της ευρύτερης
περιοχής του Ταϋγέτου***

**Πτυχιακή Εργασία της Καρβέλας Βασιλικής
*Επιβλέπων καθηγητής: Παρχαρίδης Ισαάκ***

Αθήνα, Ιούλιος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	x
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	5
2.1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	5
2.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	8
2.1.2 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ RADAR16	
2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	18
2.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	20
2.2.2 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DEM)	22
3. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΜΟΡΦΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΓΜΑΤΑ	24
3.1. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	26
3.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	30
4. ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΑΥΓΕΤΟΥ	32
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
4.1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ / ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	37
4.1.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	41

4.1.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	45
4.1.5 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	48
4.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	54
4.2.1 Α΄ ΤΡΟΠΟΣ	55
4.2.2 Β΄ ΤΡΟΠΟΣ	80
4.2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ	87
4.2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΗΞΙΓΕΝΟΥΣ ΙΣΤΟΥ	87
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ	91
4.4 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ	97
5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Πλατφόρμες τηλεπισκόπησης και τα διάφορα ύψη στις οποίες λειτουργούν.....	6
Εικόνα 2.2: Απλοποιημένο Μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεσκοπικών δεδομένων	7
Εικόνα 2.3: Περιοχή ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (EMS-Electromagnetic Spectrum) και φασματικά κανάλια.....	8
Εικόνα 2.4 : Τύποι δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης: α) ενεργά β)παθητικά	9
Εικόνα 2.5: Τεχνητοί Δορυφόροι με βάση το ύψος της τροχιάς τους	18
Εικόνα 2.6: Παραδείγματα δορυφορικών εικόνων από διαφορετικούς αισθητήρες.....	13
Εικόνα 2.7: Δορυφόρος LANDSAT-7	14
Εικόνα 2.8: Παρατήρηση ενός στόχου από διαφορετικές θέσεις	16
Εικόνα 2.9: Στάδια Ηλεκτρομαγνητικής τηλεπισκόπησης των γήινων πόρων (Electromagnetic remote sensing of earth resources)	19
Εικόνα 2.10: Αρχές ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών	21
Εικόνα 2.11: DEM από το δορυφόρο ASTER	22
Εικόνα 2.12: DEM από το δορυφόρο ASTER με αντιστοιχία χρωμάτων	23
Εικόνα 3.1: Διαδικασία για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων στη ξηρά χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες	31
Εικόνα 4.1: Χωροθέτηση της οροσειράς Ταΰγετος	34
Εικόνα 4.2: Κορυφή Προφήτη Ηλία	34

Εικόνα 4.3: Ορυχεία λιγνίτη στη Μεγαλόπολη.....	35
Εικόνα 4.4: Το οδικό δίκτυο και τα πολεοδομικά όρια των οικισμών της ευρύτερης περιοχής του Ταυγέτου	36
Εικόνα 4.5: Γεωλογικός χάρτης της νοτίου Πελοποννήσου	39
Εικόνα 4.6: Σπήλαιο Δυρού.....	41
Εικόνα 4.7: Υδρογραφικό δίκτυο ευρύτερης περιοχής Ταυγέτου	43
Εικόνα 4.8: Επίκεντρα σεισμών από το 550π.Χ μέχρι το 2008 στη νότια Πελοπόννησο.....	47
Εικόνα 4.9: Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) περιοχής μελέτης	50
Εικόνα 4.10: Δορυφορική εικόνα p183r034 band 8 και το ιστόγραμμα της	56
Εικόνα 4.11: Δορυφορική εικόνα p184r034 band 8 και το ιστόγραμμα της	57
Εικόνα 4.12: Η δορυφορική εικόνα p184r034 band 8 και το ιστόγραμμα της	58
Εικόνα 4.13: Παγχρωματική εικόνα Mosaic	59
Εικόνα 4.14: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,4,2 RGB	61
Εικόνα 4.15: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 RGB	62
Εικόνα 4.16: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,2 RGB	63
Εικόνα 4.17: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,3,2 RGB	64

Εικόνα 4.18: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,4,1 RGB	65
Εικόνα 4.19: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,1 RGB	66
Εικόνα 4.20: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,7 RGB	67
Εικόνα 4.21: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 RGB fusion	69
Εικόνα 4.22: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,1 RGB fusion	70
Εικόνα 4.23: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Detect στην παγχρωματική εικόνα.....	72
Εικόνα 4.24: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Right Diagonal Edge στην παγχρωματική εικόνα	73
Εικόνα 4.25: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Left Diagonal Edge στην παγχρωματική εικόνα	74
Εικόνα 4.26: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην παγχρωματική εικόνα.....	75
Εικόνα 4.27: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην 7,3,1 fusion	76
Εικόνα 4.28: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην 4,5,3 fusion	77
Εικόνα 4.29: Εφαρμογή φίλτρου 5x5 Edge Enhance στην παγχρωματική εικόνα.....	78
Εικόνα 4.30: Περιοχή μελέτης, παγχρωματική εικόνα	81
Εικόνα 4.31: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,4,2 fusion RGB	83
Εικόνα 4.32: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 fusion RGB	84

Εικόνα 4.33: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην εικόνα 4,5,3 fusion.....	85
Εικόνα 4.34: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην εικόνα 7,4,2 fusion.....	86
Εικόνα 4.35: Παρουσίαση ρηγμάτων με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα 742 RGB.....	88
Εικόνα 4.36: Παρουσίαση ρηγμάτων με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα 453 RGB.....	89
Εικόνα 4.37: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων των ρηγμάτων δορυφορικών εικόνων....	90
Εικόνα 4.38: Επιβεβαίωση γεωαναφοράς.....	92
Εικόνα 4.39: Μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά ενεργού ρήγματος	93
Εικόνα 4.40: Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης	94
Εικόνα 4.41: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων ρηγμάτων γεωλογικού χάρτη	95
Εικόνα 4.42: Ψηφιοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης περιοχής μελέτης	96
Εικόνα 4.43: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων ρηγμάτων α) γεωλογικού χάρτη β) δορυφορικών εικόνων	97
Εικόνα 4.44: Γεωλογικός χάρτης με τη συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες και τους γεωλογικούς χάρτες του (IGME)	99
Εικόνα 4. 45: Γεωλογικός χάρτης με τη συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες και τους γεωλογικούς χάρτες του (IGME) , περιοχή Μεγαλόπολης	100
Εικόνα 4. 46: Δορυφορική εικόνα 742 σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα από τις δορυφορικές εικόνες.....	102

Εικόνα 4.47: Λεπτομέρεια δορυφορικής εικόνας 742 σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα από τις δορυφορικές εικόνες.....	103
Εικόνα 4.48: Συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες με τη σεισμικότητα της περιοχής	105
Εικόνα 4.49: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου από την ανατολικά πλευρά του Ταϋγέτου	105
Εικόνα 4.50: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου από την περιοχή της Καλαμάτας	106

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Οπτικά Δορυφορικά Συστήματα και τα χαρακτηριστικά τους	12
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM (Landsat 5)	15
Πίνακας 2.3: Βασικές λειτουργίες ΓΣΠ	18
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων	51

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΙΓΜΕ	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΕΓΣΑ 87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
DEM	Digital Elevation Model
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984
ED 50	European Datum 1950
RADAR	Radio Detection and Ranging
ETM	Enhanced Thematic Mapper

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μας επιτρέπει τη χρήση τους για την απόκτηση και την ανάλυση πληροφοριών από την επιφάνεια της γης. Το ανάγλυφο της Ελλάδας ,και συγκεκριμένα της ευρύτερης περιοχής του Ταυγέτου , παρουσιάζει μια έντονη τεκτονική δομή, η οποία μπορεί να αναδειχθεί με την εφαρμογή τεχνικών τηλεπισκόπησης. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι, λοιπόν, η παρουσίαση τέτοιων τεχνικών οι οποίες θα βοηθήσουν στον εντοπισμό ενεργών ρηγμάτων.

Για την υλοποίηση της μελέτης αυτής, συνέβαλλαν καθοριστικά κάποια άτομα τα οποία οφείλω να ευχαριστήσω ξεχωριστά. Πρωτίστως, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Ισαάκ Παρχαρίδη και το γεωλόγο από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), κύριο Σπύρο Λαλεχό για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την σωστή καθοδήγηση που συνέβαλλαν στη ολοκλήρωση της μελέτης. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Χριστόφορο Μεταξά., Δρ. γεωλόγο του ΟΑΣΠ , για την παροχή επιστημονικών εργασιών και δημοσιεύσεων σχετικών με το εξεταζόμενο αντικείμενο. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τη Δρ. γεωλόγο κυρία Μάρθα Στεφούλη από το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), για την πολύτιμη βοήθειά της στην ενότητα που αφορά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φοιτήτρια του Τμήματος Γεωγραφίας Αθανασία Κωστάκη, για τη βοήθειά της στη δημιουργία σημαντικών δεδομένων της μελέτης αυτής, στα πλαίσια της πρακτικής της άσκησης στον ΟΑΣΠ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η χρήση τεχνικών παθητικής Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για τον εντοπισμό ενεργών ρηξιγενών δομών. Ως περιοχή μελέτης της εργασίας αυτής επιλέχθηκε η ευρύτερη περιοχή του Ταυγέτου. Κριτήριο για την επιλογή αυτή αποτέλεσαν τα έντονα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά. Σημαντικό κριτήριο ήταν, επίσης, η ύπαρξη της έντονης σεισμικότητας στη περιοχή κατά τους ιστορικούς χρόνους από τη πλευρά της Σπάρτης και κατά τους νεότερους από τη πλευρά της Καλαμάτας.

Για την υλοποίηση της μελέτης αυτής συνδυάσαμε τις πολυφασματικές εικόνες και τη παγχρωματική εικόνα του Landsat ETM+ ,το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM), τους αντίστοιχους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες της περιοχής με τα δεδομένα από τη σεισμικότητα της περιοχής. Η επεξεργασία των πολυφασματικών εικόνων για την ανάδειξη των φωτογραμμώσεων συμπεριλαμβάνει τη δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων ,την ένωση τους με την παγχρωματική εικόνα και την εφαρμογή γραμμικών φίλτρων. Τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν σε ένα περιβάλλον ΓΣΠ μαζί με τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες για την ερμηνεία τους. Επίσης, με τη 3D απεικόνιση του αναγλύφου αναδείχθηκαν τα μορφοτεκτονικά του χαρακτηριστικά.

Οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν για τη σωστή γεωαναφορά των γεωλογικών χαρτών και για τη ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου ώστε να εντοπιστούν τυχόν μετατοπίσεις του. Από τους γεωλογικούς χάρτες ψηφιοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί καθώς και τα ρήγματα ώστε να γίνει σύγκριση με τις φωτογραμμώσεις που έχουν προκύψει από την ερμηνεία των ψευδέγχρωμων εικόνων. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διαχωρίστηκαν σε αλπικά και μεταλπικά ιζήματα. Παράλληλα, εξετάστηκε η ιστορική και η ενόργανη σεισμικότητα της συγκεκριμένης περιοχής ώστε να διαπιστωθεί τυχόν συσχέτιση των ρηγμάτων με τα επίκεντρα των σεισμών.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία καταλήξαμε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τον εντοπισμό των σεισμικά ενεργών ρηξιγενών ζωνών.

ABSTRACT

Object of this study is the usage of technical Remote Sensing and Geographical Information Systems for the detection of active faults. As region of study of this work we assigned the wider region of Taygetos. Criterion for this choice was the intense morfotectonic features. Important criterion was, also, the existence of intense seismicity in the region during the historical years from the side of Sparta and during the newest years from the side of Kalamata.

For the concretization of this study we combined the multi-spectral images and the panchromatic image of Landsat ETM+, the Digital Elevation Model (DEM), the corresponding topographic and geological maps of region with the data from the seismicity of region. The process of multi-spectral images for the emergence of lineaments includes the creation of False Colour Composite images, their union with the panchromatic image and the application of linear filters. The above data were imported in an environment GIS with the topographic and geological maps for their interpretation. Also, with the 3D display of relief bring out its morfotectonic features.

The topographic maps were used for the right geo- reference o geological maps and for the digitalization of hydrographical network in order to detect any chance. From the geological maps been digitalized geological formations and the faults to become comparison with lineaments which has appeared from the interpretation of False Colour Composite images. The geological formations separate in alpine and post-alpine deposits. At the same time, was examined the historical and instrumental seismicity of the area to ascertain any correlation of faults with the epicentres of earthquakes.

Applying the above methodology, we conclude that it can be used for the detection of seismically active fault zones successfully.

1. Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε ως πτυχιακή εργασία στα πλαίσια των ακαδημαϊκών μου υποχρεώσεων στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπέιου Πανεπιστήμιου. Στόχος της μελέτης αυτής είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης των παθητικών συστημάτων τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών με σκοπό τον εντοπισμό ενεργών ρηξιγενών δομών. Σαν περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε η οροσειρά του Ταΰγετου λόγω της έντονης μορφοτεκτονικής δομής του. Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε, θα καθοριστεί από τη διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία, η δε ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα βασιστεί και στη συνεισφορά των δεδομένων πεδίου από τη βιβλιογραφία (μετρήσεις των κινήσεων των ρηγμάτων) καθώς και της ανάλυσης της σεισμικότητας της συγκεκριμένης περιοχής.

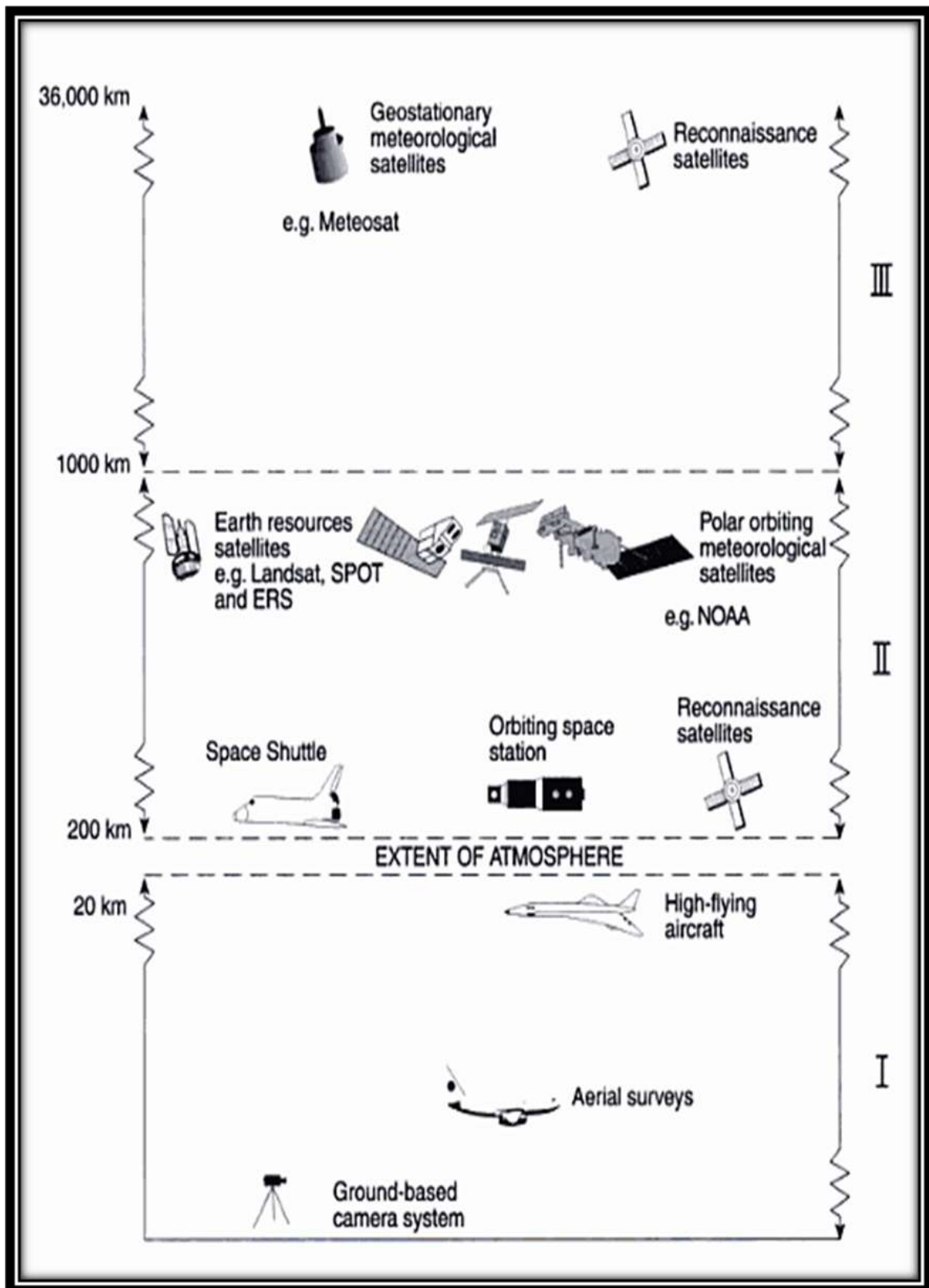
Για την υλοποίηση της μελέτης αυτής θα χρησιμοποιηθούν οι εικόνες του Landsat ETM+, η επεξεργασία των οποίων θα γίνει με τα λογισμικά Erdas Imagine 9.1[®] και TNTmips[®] / Pro 2009. Επίσης, για την ψηφιοποίηση δεδομένων από τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες και για τη συσχέτιση των εικόνων με άλλα δεδομένα θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό ΓΣΠ Geomedia Professional[®] 6.

2. Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

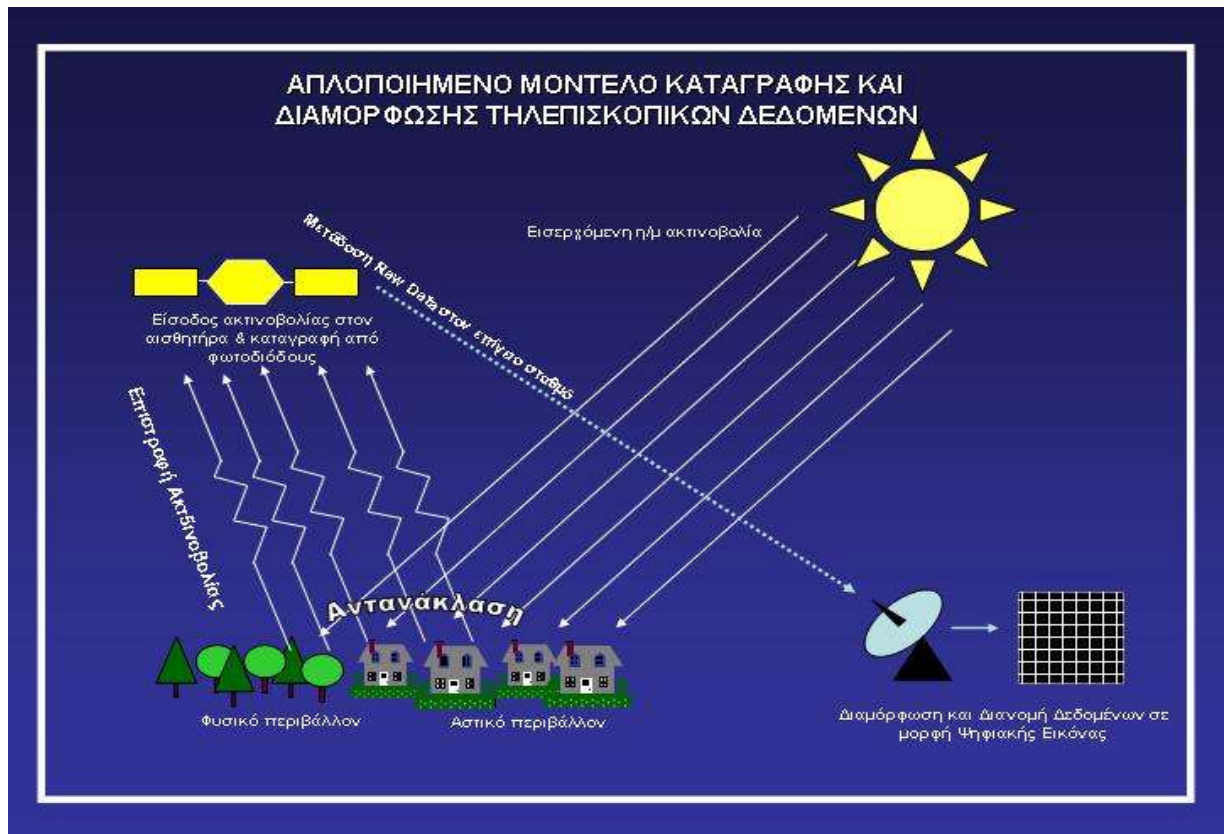
2.1 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση (Remote sensing), ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Κατά συνέπεια, η τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery & Berlin, 1992 in Μιγκίρος Γ., 2003). Η έννοια της Τηλεπισκόπησης, στο ευρύτερο ορισμό της, μπορεί να συμπεριλαμβάνει και ακουστικά (ή ηχητικά) κύματα που παράγονται κάτω από την επιφάνεια του νερού τα οποία μπορεί να καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να συγκριθούν με το ανθρώπινο αυτί. (Μιγκίρος Γ., 2003)

Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια των *απομακρυσμένων αισθητήρων* (*remote sensors*), οι οποίοι έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν και να καταγράφουν πληροφορίες σχετικά με ένα αντικείμενο που δεν έχουν φυσική επαφή. Συχνά, τοποθετούνται μακριά από το ενδιαφερόμενο αντικείμενο, χρησιμοποιώντας ελικόπτερα, αεροπλάνα, και δορυφόρους (βλ. Εικόνα 2.1). Οι περισσότεροι αισθητήρες καταγράφουν πληροφορίες για ένα αντικείμενο μετρώντας την μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας ενός αντικειμένου που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης (βλ. Εικόνα 2.2) (Pidwirny M., 2006).

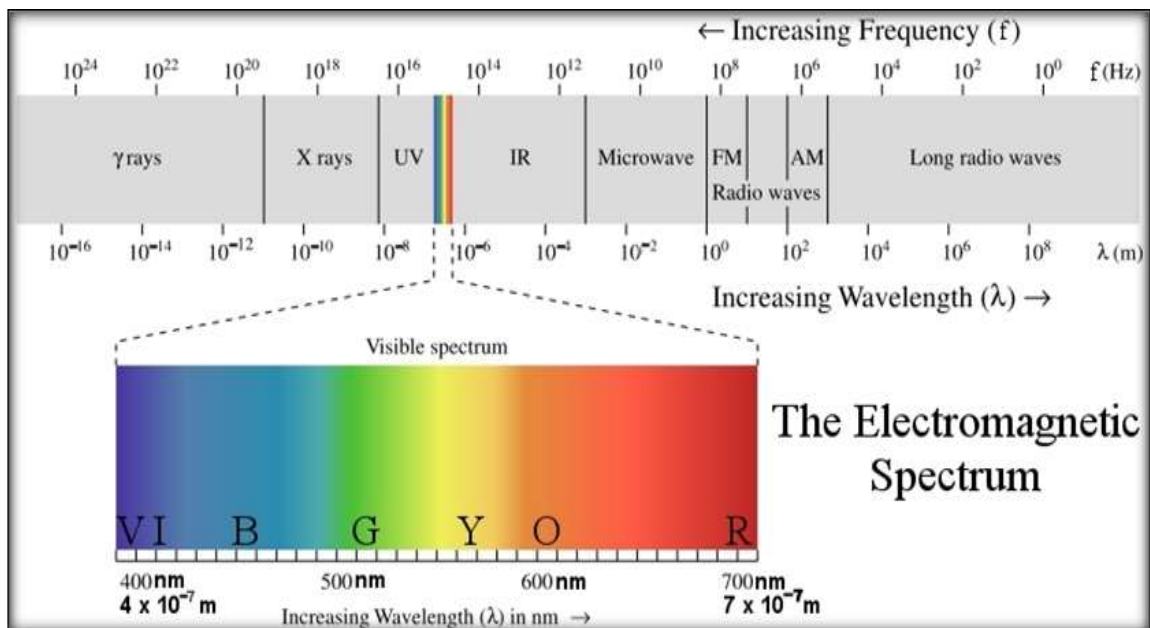


Εικόνα 2.1: Πλατφόρμες τηλεπισκόπησης και τα διάφορα ύψη στις οποίες λειτουργούν (Paul J.Gibson, 2000)



Εικόνα 2.2: Απλοποιημένο Μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεσκοπικών δεδομένων
(Πηγή: http://el.wikipedia.org/wiki/Αρχείο:Remote_model.jpg)

Ωστόσο, τα συστήματα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να ανιχνεύουν επιλεκτικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταξύ μιας ή περισσότερων υποδιαιρέσεων, χωρίς όμως να είναι αυτό εφικτό με ένα μόνο όργανο (αισθητήρα). Έτσι, οι μονάδες αισθητήρων είναι δυνατόν να συλλέξουν πληροφορίες μέσα από τη φασματική διακύμανση, η οποία είναι βέβαια εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη του ορατού καναλιού (Γ. Μιγκίρος, 2003).



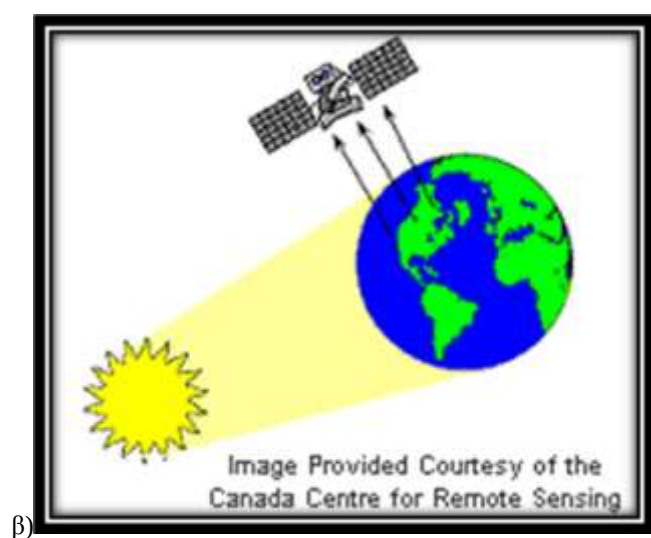
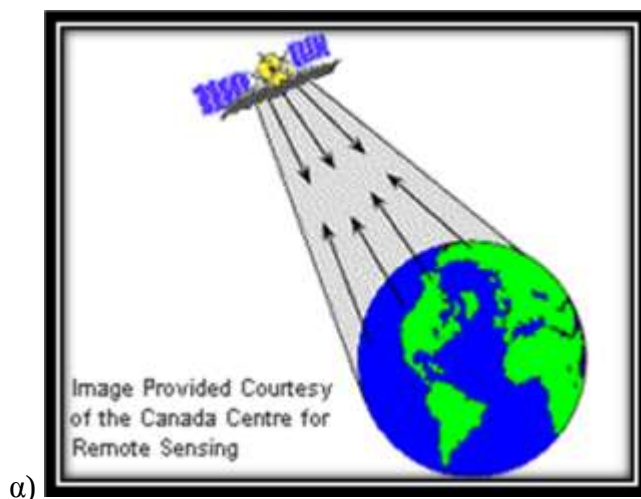
Εικόνα 2.3: Περιοχή ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (EMS-Electromagnetic Spectrum) και φασματικά κανάλια.

(Πηγή: <http://kaffee.50webs.com/Science/images/Electromagnetic-Spectrum2.jpg>)

2.1.1 Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Συστημάτων Τηλεπισκόπησης

Τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης και απεικόνισης της Γης χωρίζονται σε παθητικά και ενεργά. Τα μεν παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης ανιχνεύουν την ενέργεια ή τη δύναμη που προέρχεται από τον ίδιο το στόχο, ή από κάποια «τρίτη» πηγή. Αξίζει να σημειώσουμε ότι τα περισσότερα συστήματα τηλεπισκόπησης είναι παθητικά (Barrett C. Eric, Gurtis F. L, 1992).

Σε αντίθεση, τα ενεργά συστήματα τηλεπισκόπησης καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Συνήθως το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει και την ενέργεια προς την επιφάνεια και στην συνέχεια ανακλάται και καταγράφεται η «ηχώ» του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργού συστήματος είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων (Μιγκίρος Γ., 2003).

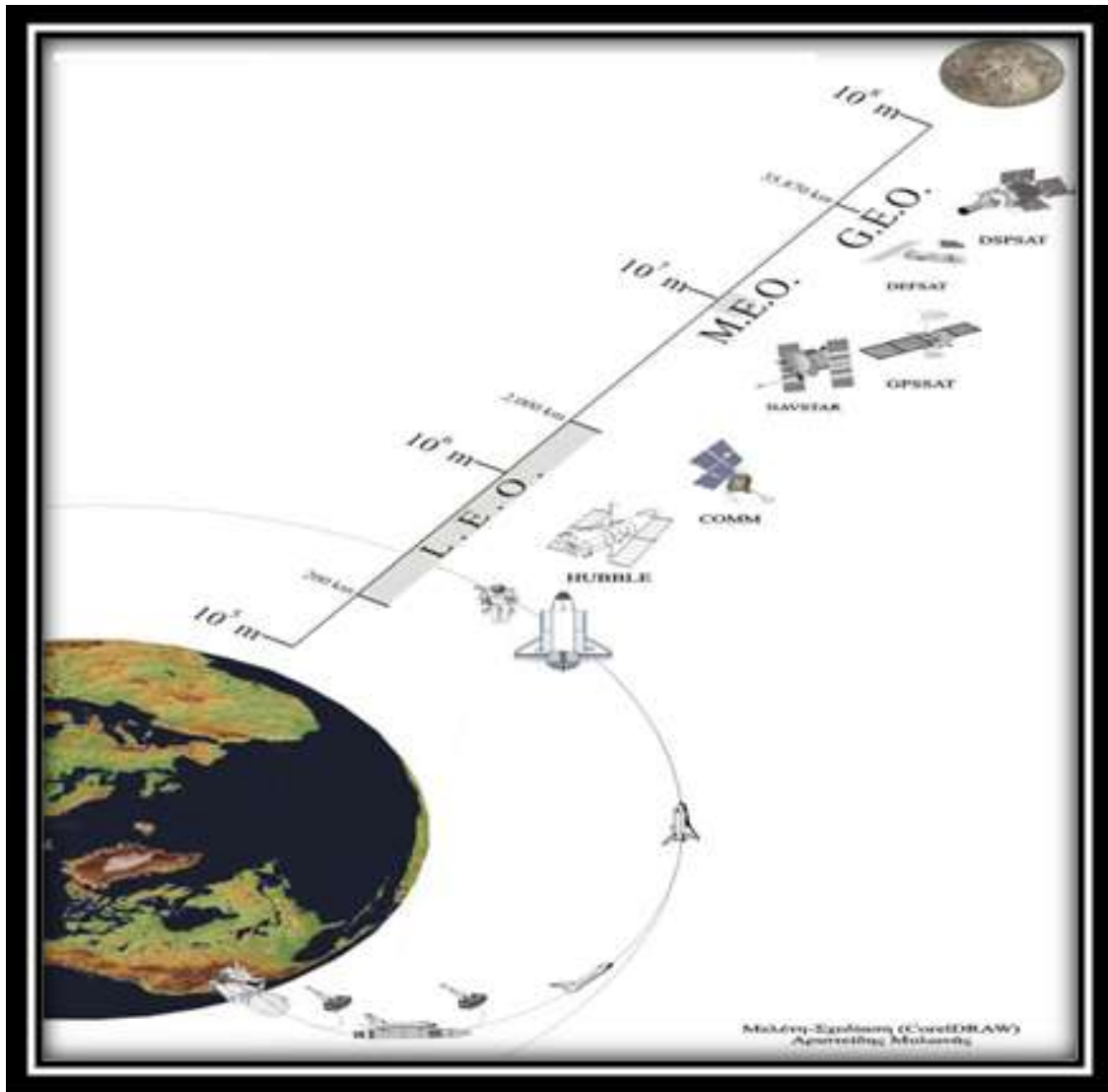


Εικόνα 2.4 : Τύποι δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης: α) ενεργά β) παθητικά
(Πηγή: http://www.rsgisrs.com/rs_types.htm)

Ανάλογα με τη φύση του δορυφόρου ή το είδος της αποστολής επιλέγεται αντίστοιχα και η τροχιά του. Οι πέντε βασικές κατηγορίες τροχιάς είναι οι εξής:

1. **Γεωστατική (γεωσύγχρονη-ισημερινή “GEO”)** τροχιά έχουν οι δορυφόροι που κινούνται γύρω από τον ισημερινό στο ύψος των 35.870 km. Έχουν περίοδο περιφοράς 24 ώρες και για αυτό το λόγο εμφανίζονται ακίνητοι στον ουρανό πάνω από τον ισημερινό (γεωστάσιμοι).
2. **Χαμηλές τροχιές (Low Earth Orbit)** έχουν οι δορυφόροι που κινούνται σε μικρό σχετικά ύψος (έως τα 2.000 km.)
3. **Μεσαίες τροχιές (Medium Earth Orbit)** έχουν οι δορυφόροι που κινούνται σε ύψος γύρω στα 10.000 km περίπου και συνδυάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των άλλων δορυφόρων (L.E.O. και G.E.O.)

4. **Πολικές τροχιές (Polar Orbits)** έχουν οι δορυφόροι που κινούνται μεταξύ των δύο πόλων της Γης και το επίπεδο της τροχιάς τους παρουσιάζει μεγάλη κλίση ως προς το επίπεδο του ισημερινού της Γης.
5. **Ηλιοσύγχρονες τροχιές (Sun-Synchronous)** έχουν οι δορυφόροι που συγχρονίζονται κατά τρόπο τινά με την κίνηση του Ήλιου στον ουρανό.¹



Εικόνα 2.5: Τεχνητοί Δορυφόροι με βάση το ύψος της τροχιάς τους (Μελέτη- Σχεδίαση Μυλωνάς Αριστ.) (Πηγή: <http://www.astronomia.org.gr/files/arismil/arissat.pdf>)

¹ Πηγή: <http://www.astronomia.org.gr/files/arismil/arissat.pdf>

Τα σημαντικότερα, χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών είναι η χωρική, φασματική, ραδιομετρική και χρονική διακριτική ικανότητα ή ανάλυσή τους (Μιγκίρος Γ.,2003).

- **Χωρική Διακριτική Ικανότητα:** είναι η ικανότητα των οργάνων καταγραφής να ανιχνεύουν το μικρότερο σε μέγεθος χαρακτηριστικό μίας εικόνας. Σύμφωνα με τον Αστάρα (1994 in Μιγκίρος Γ.,2003) ως χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας ή φωτογραφίας ορίζουμε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο αντικειμένων, στην οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται χωριστά και καθαρά. Αντικείμενα που βρίσκονται σε πλησιέστερη απόσταση από αυτήν θα φαίνονται στην εικόνα ως ένα αντικείμενο. Επίσης, εξαρτάται από την αντίθεση φωτεινότητας των αντικειμένων της εικόνας και συνήθως μετράται από το Στιγμιαίο Πεδίο Λήψεως ή IFOV (Instantaneous Field of View).
- **Φασματική Διακριτική Ικανότητα:** σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος και είναι πολύ σημαντική ιδιότητα αφού στις πολυφασματικές εικόνες:
 - a) η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών, μπορούν να καθορίζουν το βαθμό και το είδος των διάφορων στόχων και
 - b) η χρήση τους μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι.
- **Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα:** περιγράφει την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μια εικόνα ή αλλιώς την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Η αύξηση του προκαλεί ανάλογη αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι στην εικόνα, και επομένως έχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητας των στόχων.
- **Χρονική Διακριτική Ικανότητα:** σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαληψιμότητα είναι της τάξης κάποιων ημερών για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης (απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα)

Συγκρίνοντας τις ιδιότητες διάφορων αισθητήρων (βλ. Πίνακας 2.1), παρατηρούμε ότι το τέλειο σύστημα δεν υπάρχει. Κάθε σύστημα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Υπάρχει συχνά μια ανάγκη να χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητήρων προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις μιας ιδιαίτερης εφαρμογής (Cambrézy Luc et al., 2003).

Πίνακας 2.1: Οπτικά Δορυφορικά Συστήματα και τα χαρακτηριστικά τους (Μιγκίρος Γ.,2003)

	Χωρική Ανάλυση (m)			Εύρος Σάρωσης (γλμ)	Επαναληψιμότητα (ημέρες)	Ύψος Τροχιάς (γλμ)	Είδος Τροχιάς	Κλίση (μοίρες)	Ημέρα Εκτόξευσης
Landsat 5	30	120 band6	Pan 15	185	16	705	Πολική, Ηλ/χρονη	98.2	Μάρτιος 1984
Landsat 7	(bands 1-5 & 7)	60 band6							Απρίλιος 1999
SPOT 5	10	20	Pan 2.5/5	117	26	822	Σχεδόν πολική, Ηλ/χρονη	98.7	Μάιος 2002
IRS- 1C	23.5	Pan 5.8	141 (LISS)	24 (LISS III)	817	Σχεδόν πολική	98.69		Δεκέμβριος 1995
			70 (PAN) 810 (WiFS)	5 (WiFS, PAN)					
IKONOS	4	Pan 1	11.3	1-3	680	Σχεδόν πολική	98		Σεπτέμβριος 1999
QUICKBIRD	2.8	Pan 0.7	16.5	1-3.5	450	Σχεδόν Πολική	97.2		Οκτώβριος 2001
ASTER	30 (SWIR)	90 (TIR)	15 (VNIR)	60	16	705	Σχεδόν πολική, Ηλ/χρονη	98.3	Δεκέμβριος 1999

Guinea-Bissau

ETM+



Source: NASA

Tsangpo River, Tibet

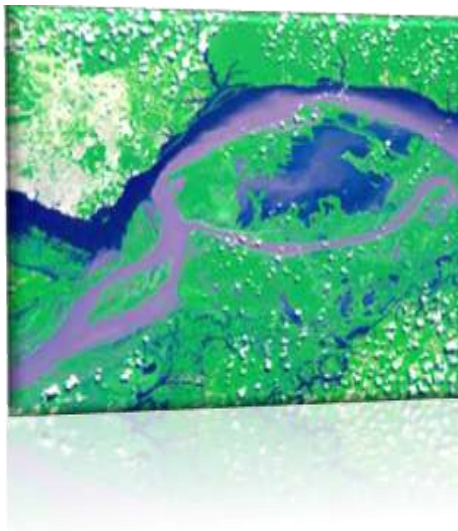
Ikonos



© Space Imaging

Brazil

Aster



Source: NASA

Canberra, Australia

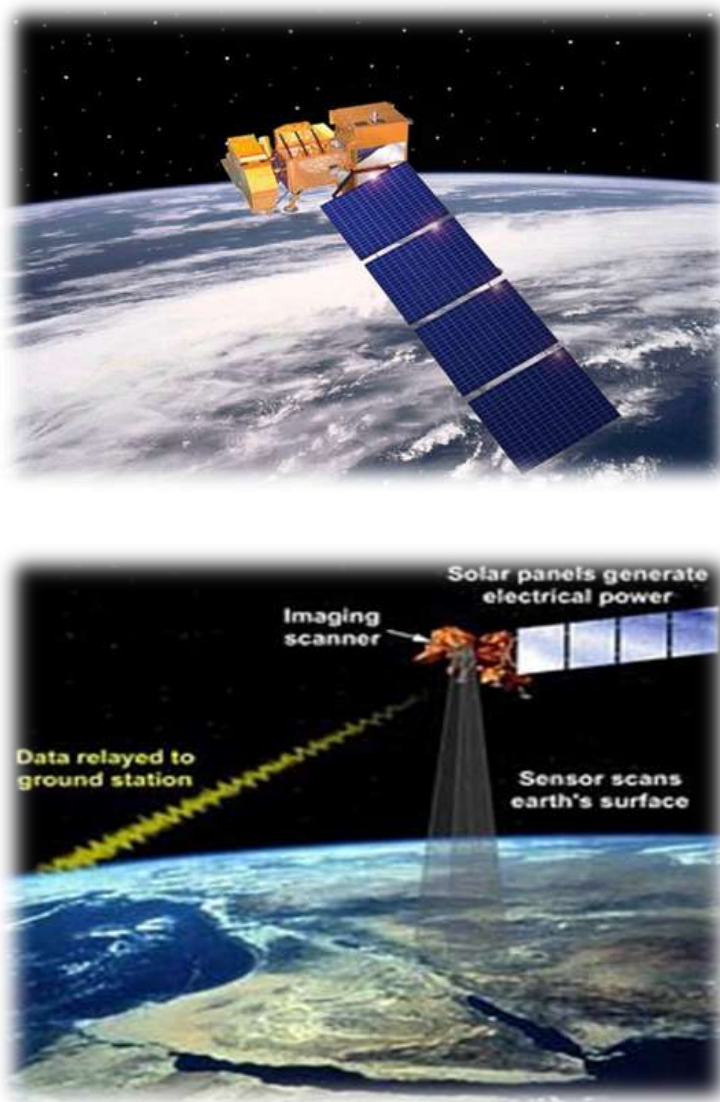
SPOT 5



SPOT image

Εικόνα 2.6: Παραδείγματα δορυφορικών εικόνων από διαφορετικούς αισθητήρες.

(Πηγή: <http://www.cartographie.ird.fr/refugies/biblio-uganda.html>)



Εικόνα 2.7: Δορυφόρος LANDSAT-7

Στην παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από το δορυφόρο LANDSAT-7, ο οποίος φέρει ένα Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο (ETM+ , Enhanced Thematic Mapper), σε σχέση με τον απλό Θεματικό Χαρτογράφο TM που μετέφερε ο LANDSAT-5. Επίσης, διαθέτει τρία κανάλια στην περιοχή του ορατού φάσματος (1,2,3), ένα στην περιοχή του εγγύς υπερύθρου (4), δύο στην περιοχή του μέσου υπερύθρου (5,7) και ένα στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου (6). Αξίζει να δούμε , επομένως, κάποια χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM

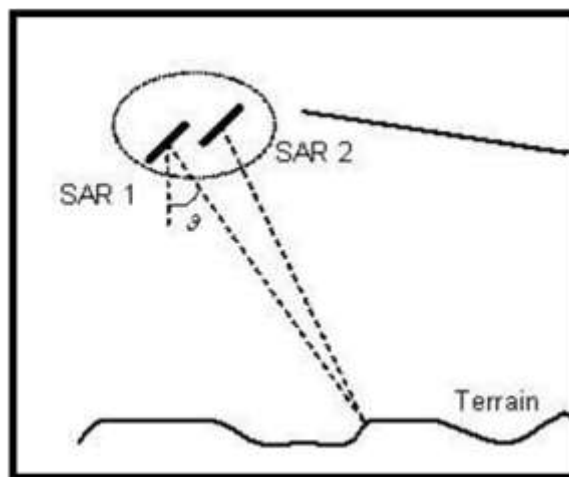
Band	Wavelength (μm)	Nominal Spectral Location	Principal Application
1	0.45-0.52	blue	Επιτρέπει την διεύθυνση στις υδάτινες μάζες και συνεισφέρει σημαντικά στη ανάλυση της χρήσης γης, εδαφών και χαρακτηριστικών βλάστησης. Το κατώτερο όριο μήκους κύματος συμπίπτει με την μέγιστη μετάδοση των καθαρών υδάτινων μαζών, ενώ το ανώτερο όριο συμπίπτει με το όριο του μπλε που απορροφάται από τη χλωροφύλλη. Τα μήκη κύματος κάτω από το 0,45 επηρεάζονται από την απορρόφηση και τη σκέδαση.
2	0.52-0.60	green	Συνδέει την περιοχή μεταξύ των φασματικών ζωνών μπλε και κόκκινου, που απορροφούνται από τη χλωροφύλλη και αντιστοιχεί στο ανακλώμενο πράσινο της υγιούς βλάστησης. Οι φασματικές ζώνες 1 και 2 έχουν την ίδια φασματική ευαισθησία με το απλό φιλμ που χρησιμοποιείται για τις αεροφωτογραφίες.
3	0.63-0.69	red	Πρόκειται για την ερυθρή ζώνη απορρόφησης από τη χλωροφύλλη, στην περίπτωση υγιούς βλάστησης και αποτελεί την σημαντικότερη φασματική ζώνη για την διάκρισή της. Επίσης βοηθάει για την οριοθέτηση των εδαφών και των γεωλογικών σχηματισμών.
4	0.76-0.90	reflected- infrared	Η φασματική ζώνη αυτή έχει πολύ καλή απόκριση για το σύνολο της βιομάζας που υπάρχει σε μια εικόνα. Επίσης βοηθάει στην αναγνώριση των καλλιεργειών και στην μεγιστοποίηση της αντίθεσης έδαφος-καλλιέργεια και έδαφος-υδάτινες μάζες.
5	1.55-1.75	mid- infrared	Η φασματική ζώνη αυτή είναι ευαίσθητη στο ποσό του νερού που υπάρχει στα φυτά. Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη στις έρευνες για την ξηρασία στα φυτά και την υγιή βλάστηση. Επιπλέον η φασματική αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διάκριση μεταξύ χιονιού, σύννεφων και πάγου.
6	10.4-12.4	thermal- infrared	Η φασματική αυτή ζώνη μετράει το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολού ροής που εκπέμπεται από τις διάφορες επιφάνειες. Είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό περιοχών με γεωθερμική δραστηριότητα, στις γεωλογικές έρευνες, στην ταξινόμηση της βλάστηση και στη μελέτη της εδαφικής υγρασίας.
7	2.08-2.35	mid- infrared	Πρόκειται για μια φασματική ζώνη που βοηθάει στη διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών και στον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στα ηφαιστειακά πετρώματα.

2.1.2 Διαφορική Συμβολομετρία από δορυφόρους RADAR

Τα δορυφορικά συστήματα **RADAR (Radio Detection and Ranging)** όπως προαναφέραμε είναι ενεργά συστήματα (βλ. 2.1.1). Βασικό πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων ότι είναι παντός καιρού, γιατί λειτουργούν ανεξάρτητα από τον ηλιακό φωτισμό (επομένως έχουν την ικανότητα να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας) και δεν είναι ευαίσθητοι στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες ούτε στη νεφοκάλυψη (Μιγκίρος Γ., 2003).

Οι εικόνες **RADAR** χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στη συμβολομετρία, η οποία έχει σημειώσει σημαντική ανάπτυξη και έχει γίνει μία από τις πιο χρήσιμες μεθόδους ανίχνευσης και παρακολούθησης της παραμόρφωσης του εδάφους είτε από φυσικά αίτια (σεισμούς, καθιζήσεις, κατολισθήσεις κτλ.), είτε από ανθρωπογενή αίτια (άντληση υπόγειων υδάτων, ύπαρξη ορυχείων, κατασκευή συράγγων κτλ.) (Παρχαρίδης Ισαάκ et al, 2009).

Μια επιμέρους σημαντική τεχνική της συμβολομετρίας είναι η διαφορική συμβολομετρία (DINSAR), με τη χρήση της οποίας μπορούν να παραχθούν χάρτες παραμόρφωσης που οφείλονται σε γεωλογικά αίτια. Ένα απλό παράδειγμα ενός συμβολομετρικού SAR ζευγαριού εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα 8 στην οποία δύο κεραίες Ραντάρ (SAR 1 και SAR 2) παρατηρούν ένα αντικείμενο-στόχο από δύο διαφορετικές θέσεις στο διάστημα (Παρχαρίδης Ισαάκ et al, 2009).



Εικόνα 2.8: Παρατήρηση ενός στόχου από διαφορετικές θέσεις.
(Πηγή: GAMMA Remote Sensing)

Επιπλέον, η διαφορική συμβολομετρία από δορυφόρους *RADAR* (*DINSAR*) προσανατολίζεται κυρίως στην αναγνώριση κατακόρυφων κινήσεων της επιφάνειας, ενώ στερείται ευαισθησίας στην οριζόντια διάσταση.

Στη παρούσα μελέτη δε θα χρησιμοποιήσουμε τη συγκεκριμένη τεχνική, ωστόσο αξίζει να αναφέρουμε τη μελέτη των Parcharidis Issaak et al (2009) για την ανίχνευση και τον έλεγχο των ενεργών ρηγμάτων σε αστικές περιοχές. Συγκεκριμένα, εφάρμοσαν τη τεχνική της διαφορικής συμβολομετρίας (*PS Interferometry*) χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον *ERS-1/ -2 SAR* και δύο εικόνες *SLC* (*Single Look Complex*). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, τέλος, συγκρίθηκαν με τους τεκτονικούς χάρτες της περιοχής μελέτης.

2.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών– ΓΣΠ (Geographical Information Systems – G.I.S.) είναι μια ειδική μορφή πληροφοριακού συστήματος² η οποία περιλαμβάνει και εφαρμόζεται σε γεωγραφικά δεδομένα. Ένα ΓΣΠ χρησιμοποιεί δεδομένα με γεωγραφική αναφορά όπως και μη χωρικά δεδομένα, υποστηρίζοντας παράλληλα τη χωρική ανάλυση. Συνδυαστικό κρίκο μεταξύ των στοιχείων του είναι η «γεωγραφία τους» (τοποθέτηση, εγγύτητα, τοπολογικές σχέσεις κλπ). Είναι, επομένως, ένα σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά (Χαλκιάς Χρ,2005: 5,6).

Οι βασικές λειτουργίες ενός ΓΣΠ συνοψίζονται στον πίνακα 2.3 που ακολουθεί .

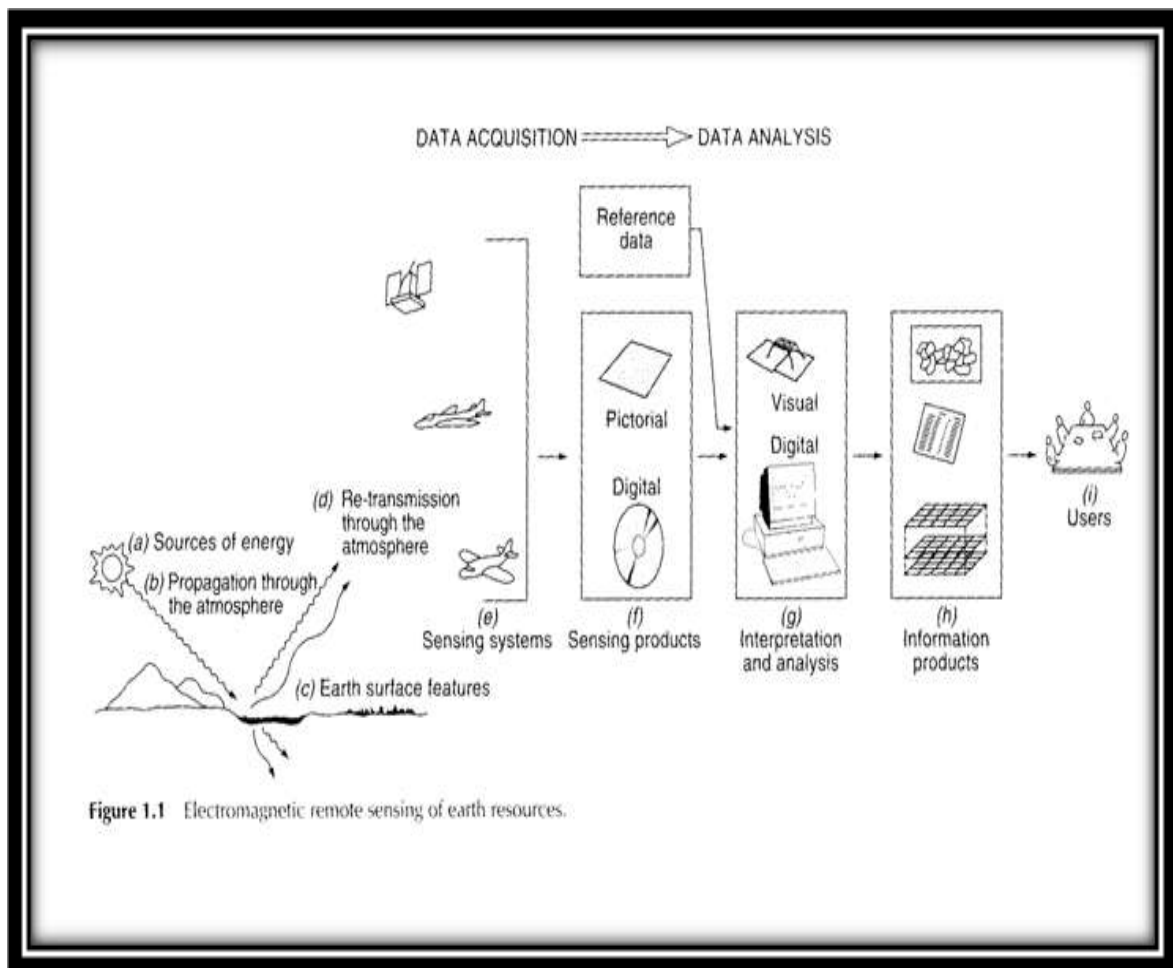
Πίνακας 2.3: Βασικές λειτουργίες ΓΣΠ (Χαλκιάς Χρ,2005)

Βασικές Λειτουργίες ΓΣΠ	Παραδείγματα λειτουργίας
Καταγραφή- επεξεργασία δεδομένων	Ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη
Διαχείριση - ανάκτηση	Επιλογή δεδομένων με ερωτήματα στη βάση περιγραφικών δεδομένων
Χωρική ανάλυση και μετρήσεις	Επιθέσεις θεαματικών επιπέδων, μετρήσεις μηκών, εμβαδών ή αποστάσεων μεταξύ γεωγραφικών οντοτήτων
Οπτικοποίηση – γραφική απεικόνιση	Δημιουργία θεματικών χαρτών, δημιουργία 3D απεικονίσεων του χώρου

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές διοικητικές και παραγωγικές δραστηριότητες, οι οποίες ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

² Πληροφοριακό σύστημα είναι ένα σύνολο διαδικασιών, οι οποίες εφαρμόζονται σε δεδομένα και παράγουν χρήσιμη πληροφορία (Χαλκιάς Χρ, 2005: 5,6).

- κοινωνικο-οικονομικές εφαρμογές (π.χ. πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός, κτηματολόγιο, αρχαιολογία, φυσικοί πόροι, ανάλυση αγοράς, κ.λπ.)
 - περιβαλλοντικές εφαρμογές (π.χ. δασολογία, έλεγχος πυρκαγιών και επιδημιών, κλπ.) και
 - εφαρμογές διαχείρισης (π.χ. οργάνωση δικτύων ύδρευσης, επικοινωνιών και ενέργειας, μεταφορές, πλοήγηση πλοίων και αεροπλάνων, κλπ.)
- (Στεφανάκης Ε., 2003)



Εικόνα 2.9: Συλλογή και ανάλυση τηλεπισκοπηκών δεδομένων (Gibson J. P, 2000)

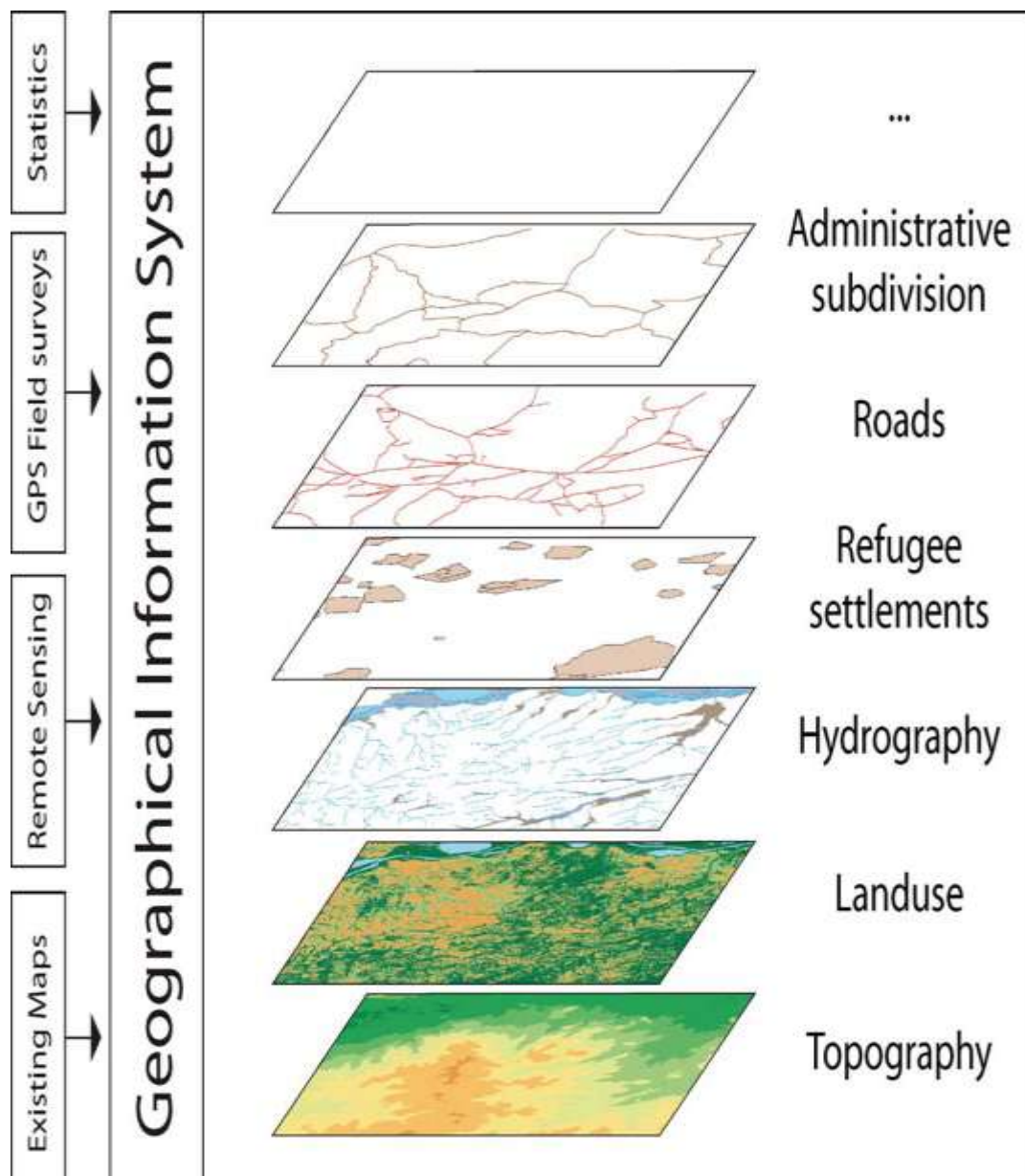
2.2.1 Χαρακτηριστικά Δεδομένων

Τα δεδομένα, ανάλογα με τη φύση και το περιεχόμενό τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα χωρικά και τα περιγραφικά ως εξής:

α) Τα **χωρικά δεδομένα** (spatial data), χαρακτηρίζονται από τη θέση, το σχήμα και τις υφιστάμενες σχέσεις μεταξύ γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Προκειμένου να επεξεργασθούν από το σύστημα πρέπει να μετασχηματισθούν σε ψηφιακή μορφή αν δεν είναι. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την απευθείας ψηφιοποίηση, είτε μετά τη σάρωση μέσω σαρωτή (scanner) μέσα από το σύστημα. Τα ψηφιακά δεδομένα χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Σημειακά δεδομένα
2. Γραμμικά δεδομένα
3. Επιφανειακά δεδομένα
4. Δεδομένα ανάγλυφου ή τρισδιάστατα

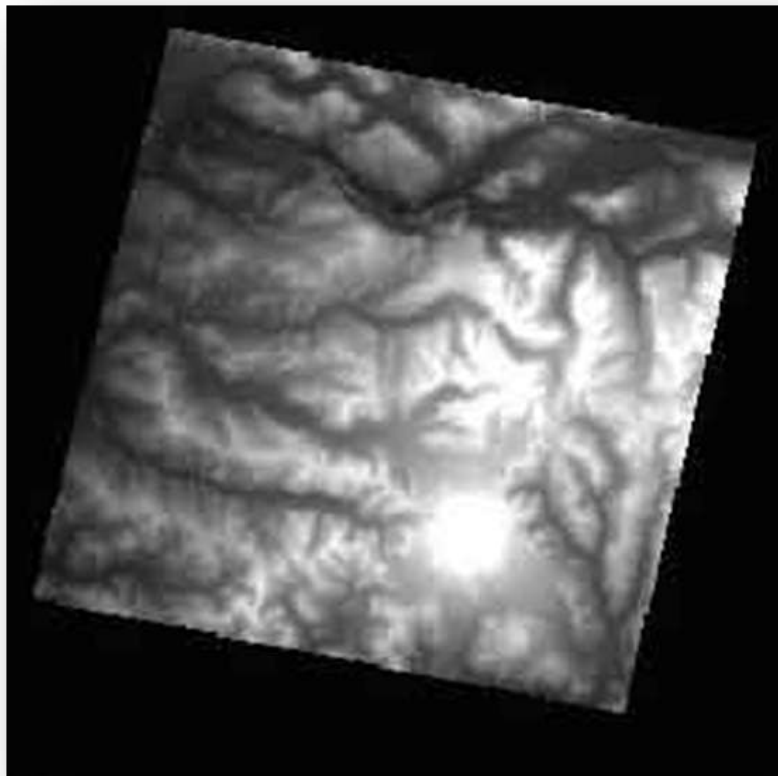
β) Τα **περιγραφικά δεδομένα** (descriptive data), σχετίζονται ή περιγράφουν τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της υπόψη χωρικής θέσης και δίνονται σε μορφή πινάκων ή κειμένου. Τα περιγραφικά δεδομένα, μπορεί να είναι ποιοτικά (χαρακτηριστικά - ιδιότητες) ή ποσοτικά (αριθμητικά - στατιστικά), για το συγκεκριμένο σημειακό, γραμμικό, επιφανειακό δεδομένο, ή δεδομένο ανάγλυφου που προσδιορίζουν και καταχωρούνται στη βάση δεδομένων. Μπορεί να δίνουν πληροφορίες σχετικά με το όνομα – το πάχος – την ηλικία – τη φάση – τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γενικά του γεωλογικού σχηματισμού, το άλμα – το μήκος – τη διεύθυνση – την κλίση του ρήγματος, το μέγεθος – το βάθος – την ημερομηνία τους σεισμού, την επί τοις % κλίση του ανάγλυφου κ.α. (Παπανικολάου Δ., 2000).



Εικόνα 2.10: Αρχές ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών
(Πηγή: <http://www.cartographie.ird.fr/refugies/biblio-uganda.html>)

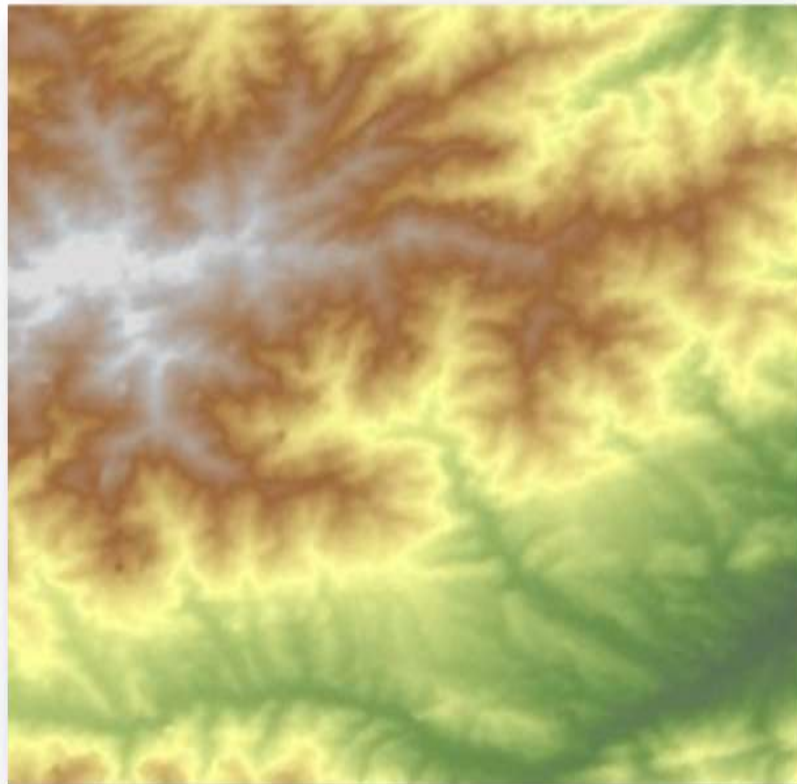
2.2.2 Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Dem)

Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Digital Terrain Model - DTM) ή Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model - DEM) αποτελεί μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου μέσα από ΓΣΠ, σε μορφή κάνναβου, η οποία περιγράφει τη γεωμετρία της γήινης επιφάνειας. Κάθε κυψελίδα του κάνναβου δίνει τις υψομετρικές μεταβολές της επιφάνειας, όπου μπορούν να περιγράψουν μαθηματικά σαν υψόμετρο (z) σε συνάρτηση με τη θέση του. Το DEM ουσιαστικά είναι μία μαυρόασπρη εικόνα, στην οποία τα pixels με πολύ χαμηλό ψηφιακό αριθμό (μαύρα pixels) αντιστοιχούν σε περιοχές με χαμηλό ανάγλυφο, ενώ αυτά με υψηλό ψηφιακό αριθμό (άσπρα pixels) περιοχές με υψηλό ανάγλυφο (βλ. Εικόνα 2.11). Είναι δυνατόν να δοθούν χρώματα (σε αντιστοιχία με τα υψόμετρα) για καλύτερα οπτικά αποτελέσματα (βλ. Εικόνα 2.12) (Παπανικολάου Δ., 2000).



Εικόνα 2. 11: DEM από το δορυφόρο **ASTER**
(Πηγή: <http://www.madmappers.com/msdetails/AsterDEM.htm>)

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες διαμόρφωσης του ανάγλυφου είναι οι διάφορες τεκτονικές διεργασίες που συμβαίνουν και που όσο πιο πρόσφατες είναι στο γεωλογικό χρόνο, τόσο πιο αναλλοίωτες μένουν, από άλλες διεργασίες όπως διάβρωση – απόθεση κλπ. Μελετώντας λοιπόν το ανάγλυφο, μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την Τεκτονική – Νεοτεκτονική – Μορφοτεκτονική – Μορφοδυναμική – Γεωδυναμική της περιοχής σε συνδυασμό πάντα και με άλλα δεδομένα (γεωλογικά, τεκτονικά, σεισμολογικά κ.ά.) που ήδη υπάρχουν είτε από βιβλιογραφικές αναφορές είτε από παρατηρήσεις πεδίου ή ακόμη και από δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες κλπ. (Παπανικολάου Δ., 2000).



Εικόνα 2.12: DEM από το δορυφόρο **ASTER** με αντιστοιχία χρωμάτων
(Πηγή <http://spatialnews.geocomm.com/features/childs4/>)

3. Τηλεπισκόπηση, Μορφοδομές και Ενεργά Ρήγματα

Η τηλεπισκόπηση παρέχει τη συνοπτική κάλυψη των μεγάλων περιοχών χρησιμοποιώντας τις ποσοτικές παρατηρητικές παραμέτρους όπως η φασματική ακτινοβολία και είναι έτσι μια ενδεχομένως πλούσια πηγή πληροφορίας στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (landforms), την κάλυψη εδάφους, και τον προσδιορισμό των τεκτονικών χαρακτηριστικών (Philip G. , 2007). Η απευθείας αναγνώριση τεκτονικών χαρακτηριστικών από δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα, βασίζεται στη θεωρία των μορφοδομών, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν μέσω της ανίχνευσης και της ερμηνείας τους στην τεκτονική ανάλυση της περιοχής. Η αναγνώριση επιφανειακών ιχνών ρηγμάτων και πτυχών είναι ένα από τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης (Παπανικολάου Δ. et al, 2000).

Επίσης, σύμφωνα με τους Παπανικολάου Δ. et al (2000), η δυνατότητα της δομικής παρατήρησης από δορυφορικά οπτικά δεδομένα ή ραντάρ στηρίζεται κυρίως στην μορφοτεκτονική. Συγκεκριμένα, ο όρος μορφοτεκτονική βασίζεται στη θεωρία ότι τις αλλαγές στη γήινη επιφάνεια επέφεραν οι τεκτονικές κινήσεις. Γενικότερα, οι αλλαγές αυτές εμφανίζονται περισσότερο έντονες όσο πιο πρόσφατες και έντονες είναι οι κινήσεις (Panizza, 1991 in Παπανικολάου Δ., 2000). Επίσης, η εκδήλωση των τεκτονικών χαρακτηριστικών επηρεάζεται κυρίως από το χαρακτήρα των πετρωμάτων και από τις κλιματολογικές συνθήκες που επιδρούν. Άλλωστε σύμφωνα με το Chorowicz (1984 in Παπανικολάου Δ., 2000) η αυτόματη αναγνώριση των θεμελιωδών γεωλογικών χαρακτηριστικών είναι δυνατή διότι διαθέτουν το δικό τους χαρακτηριστικό σχήμα και τις δικές τους γεωμορφολογικές εκφράσεις. Επίσης, τα ρήγματα, οι διακλάσεις και οι γραμμώσεις συνήθως έχουν μία ευθύγραμμη έκθεση στις εικόνες και η ερμηνεία τους εξαρτάται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά ή τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Η αναγνώριση πτυχών μπορεί να γίνει μέσω γεωμορφολογίας ή από το σχήμα ιδιαίτερων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (Παπανικολάου Δ., 2000).

Σύμφωνα με τον ορισμό της Αμερικανικής Γεωλογικής Υπηρεσίας (United States Geological Survey - USGS), ενεργά ρήγματα είναι εκείνα τα οποία εμφανίζουν ολίσθηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων 11.000 χρόνων (περίοδος Ολόκαινου) με μέσο ιστορικό ρυθμό τουλάχιστον 1 mm / έτος. Επιπλέον, ένα ρήγμα το οποίο έχει ολισθήσει κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς (1,6 εκατ. χρόνια) και το οποίο εκτιμάται ότι μπορεί να

συνεχίσει να ολισθαίνει, θεωρείται επίσης ενεργό³. Στην τηλεπισκόπηση τα ενεργά ρήγματα εκφράζονται από τη μετατόπιση των γεωμορφών και συγκεκριμένα, όσα ενεργά ρήγματα έχουν πρόσφατα μετακινηθεί διατηρούν περισσότερο καθαρά μετατοπισμένες περιοχές από ότι άλλες οι οποίες έχουν μετακινηθεί προγενέστερα. Οι γεωμορφές οι οποίες σχηματίζονται από τη ρηγμάτωση (διαφορική μετατόπιση των δύο τεμαχίων κατά μήκος του επιπέδου του ρήγματος) καλούνται μετατοπισμένες γεωμορφές λόγω ρηγμάτωσης. Στην πραγματικότητα οι μετατοπισμένες γεωμορφές που παρατηρούμε είναι πολύπλοκες εξαιτίας του ότι συνιστάται από πάρα πολλές μετατοπισμένες γεωμορφές ή υπόκεινται σε κάλυψη κάτω από διαβρωμένες γεωμορφές (Παπανικολάου Δ., 2000).

³ Πηγή: <http://www.consrv.ca.gov/CGS/rghm/ap/index.htm> Alquist-Priolo Earthquake Fault Zones
<http://earthquake.usgs.gov/regional/qfaults/> Quaternary Fault and Fold Database of the United States
NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures. 2000 Edition, Prepared By The Building Seismic Safety Council For The Federal Emergency Management Agency (FEMA), BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL, Washington, D.C., 2001 (<http://www.wbdg.org/ccb/fema/archives/fema368.pdf>)

3.1. Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε διάφορες τεχνικές τηλεπισκόπησης, που έχουν εφαρμόσει διάφοροι συγγραφείς για την ανίχνευση μορφοδομών, και πως αυτές τους βοήθησαν για τον εντοπισμό και την ανάλυση μορφοδομών, με σκοπό να καθορίσουμε τη μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε στα πλαίσια της μελέτης αυτής.

Οι **Vinod Kumar K. et al** (2006) στην προσπάθειά τους να χαρτογραφήσουν τις καταστροφικές συνέπειες του σεισμού που σημειώθηκε στις 8 Οκτωβρίου το 2005 στη βόρεια Ινδία χρησιμοποίησαν εικόνες από τα συστήματα Cartosat-1 και Resourcesat-1. Στην έρευνά τους, αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι τα στερεοσκοπικά ζεύγη που παράγονται από τις δορυφορικές εικόνες είναι αποτελεσματικά για την παρατήρηση των ενεργών ρηγμάτων και για σχετικές μελέτες. Παράλληλα τονίζει, ότι τα δεδομένα από το Cartosat-1 βοηθούν γενικά στις μελέτες που αφορούν φυσικές καταστροφές λόγω της μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας του συστήματος (2.5 m) με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του fusion [συγχώνευση παγχρωματικής εικόνας (PAN=2.5m) του Cartosat-1 και την πολυφασματική εικόνα του Resourcesat-1 (LISS-IV=5.8m)].

Σε αρκετές εργασίες με περιοχή μελέτης την Ινδία έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες από το δορυφορικό σύστημα IRS (Indian Remote Sensing). Συγκεκριμένα ο **Ramasamy S.M.** (2006), χρησιμοποίησε δεδομένα από το IRS 1B για να προσδιορίσει και να ερμηνεύσει τις διάφορες τεκτονικές και γεωμορφολογικές ανωμαλίες στην Ινδία. Πιο αναλυτικά, ο συγγραφέας αναφέρει ότι αυτές οι γεωμορφολογικές ανωμαλίες είναι ευδιάκριτες με την τεμαχιοποίηση της πυκνότητας των εικόνων και τη δημιουργία της ψευδέγχρωμης εικόνας (False Colour Composite-FCC) 2,3,4 (RGB). Ωστόσο για την ολοκληρωμένη ερμηνεία της περιοχής ο συγγραφέας συνδυάζει την ερμηνεία των εικόνων μαζί με δεδομένα από άλλους τομείς (π.χ. σεισμολογία, γεωφυσική, τεκτονική).

Ο **Philip G.** το 2007, για την χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων στη βόρεια Ινδία, χρησιμοποίησε εικόνες από τους δορυφόρους IRS-P6-LISS-IV, IRS-1C-LISS-III, αεροφωτογραφίες και τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής. Επιπρόσθετα, για τη χαρτογράφηση μερικών από τις σημαντικότερες δομές στην περιοχή χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) το οποίο δόθηκε από την Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Επίσης, πρόσθετες εικόνες που παρέχονται από το GoogleTM κρίθηκαν χρήσιμες, δεδομένου ότι παρέχουν την τρισδιάστατη αίσθηση της

απεικόνισης του εδάφους. Αρχικά εντόπισε το ρήγμα στην επιφάνεια μέσω των δορυφορικών εικόνων με διάφορες τεχνικές επεξεργασίας (βελτίωση της αντίθεσης, χρήση φίλτρων, image sharpening, δημιουργία ψευδέγχρωμων εικόνων και ανάλυση κύριων συνιστωσών). Στη συνέχεια, συνέθεσε το γεωλογικό χάρτη της περιοχής γιατί όπως αναφέρει, οι δομικές ιδιότητες μιας ενεργού τεκτονικής περιοχής απαιτούν ουσιαστικά τη γνώση της γεωμορφολογίας της επιφάνειας. Οι μορφοδομές που σχετίζονται με τα ενεργά ρήγματα και που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή περιλαμβάνουν τις μετατοπίσεις του υδρογραφικού δικτύου (offset drainage) και τη μετατόπιση των ποτάμιων αποθέσεων (alluvial fans). Επίσης, μελέτησε τη μορφολογία των ρηξιγενών αναγλύφων (scarp faults).

Οι **Bhosle B. et al.** (2006) στη μελέτη τους τονίζουν ότι για την αναγνώριση των ρηγμάτων είναι σημαντικές οι αλλαγές στην κατεύθυνση της κοίτης των ποταμών, οι αλλαγές στη καμπή τους (sinuosity), και οι αλλαγές στην κατεύθυνση των κλίσεων των μεσοποτάμιων περιοχών (interfluves). Χρησιμοποιήθηκε η εικόνα LISS-III του IRS-1D, η οποία βελτιώθηκε με τη μέθοδο της βελτίωσης της αντίθεσης και του ιστογράμματος (linear stretching and histogram equalization), και το DEM (Digital Elevation Model).

Ο **Antonio E. Cameron-González** (2004) στη μελέτη του για τα ενεργά ρήγματα στο Πουέρτο Ρίκο χρησιμοποίησε εικόνες του δορυφόρου Landsat TM, από τις οποίες δημιούργησε σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες (6,5,4 και 7,4,1 (RGB)). Υποστηρίζει, ότι οι εικόνες αυτές, μας παρέχουν την ικανότητα να διακρίνουμε ακριβώς τις γεωμορφολογικές δομές που συνδέονται με το ρηξιγενές ανάγλυφο (faults scarps) καθώς και τις γραμμώσεις (ή φωτογραμώσεις) από τα ρήγματα. Την ίδια άποψη παρουσίασαν και οι **Syed Ahmad Ali & Saied Pirasteh** (2004) στη μελέτη τους για την περιοχή Ζάγκρος του Ιραν, όπου χρησιμοποίησαν το ίδιο δορυφορικό σύστημα. Ωστόσο, οι τεχνικές τους διαφέρουν λίγο από το προηγούμενο συγγραφέα. Συγκεκριμένα, δημιούργησαν τις ψευδέγχρωμες εικόνες 4,3,2 (RGB) και 7,4,1 (RGB) και εφάρμοσαν διάφορα φίλτρα (όπως Laplacian and directional convolution filters) στο κανάλι 4 του Landsat TM το οποίο κρίθηκε κατάλληλο για τον εντοπισμό των γραμμικών στοιχείων.

Οι **Ρόκος Ε. και Ανδρόνης Β.**,(2004) μελετώντας τη τεκτονική τάφρο της Σητείας χρησιμοποίησαν το δορυφορικό σύστημα του Landsat TM. Αρχικά χρησιμοποίησαν, όπως αναφέρουν, μία από τις βασικότερες μεθόδους ενίσχυσης των ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων με στόχο την οπτικά καλύτερη εμφάνιση τους. Η μέθοδος αυτή είναι η γραμμική ενίσχυση του τόνου με αποκοπή, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις ψηφιακές

επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης, έκριναν ότι το κανάλι 5 είναι το πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό γεωλογικών και γεωμορφολογικών φωτογραμμώσεων, λόγω ότι το κανάλι αυτό παρουσιάζει μεγαλύτερη διασπορά άρα και περισσότερη πληροφορία. Έτσι, η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα που κρίθηκε ως πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό φωτογραμμώσεων είναι το 5,4,1 (RGB).

Οι **Voulgaris N. et al** (2004) στη μελέτη του για το νησί της Λέσβου, χρησιμοποίησαν τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες, τα σεισμολογικά δεδομένα της περιοχής και εικόνες του δορυφόρου Landsat TM. Παράλληλα για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τρεις τεχνικές: α) *βελτίωση της αντίθεσης*, με τη χρήση τεχνικών διόρθωσης του ιστογράμματος (εφαρμογή της απλής γραμμικής μεθόδου με το σημείο κορεσμού 2% στο λογισμικό Erdas Imagine[®]), β) *ανάλυση κυρίων συνιστωσών*: τεχνική μετασχηματισμού εικόνας που στοχεύει στη μετατροπή των ιδιαίτερα σχετικών στοιχείων σε μη - σχετικά στοιχεία. Η ανάλυση αυτή εφαρμόστηκε στις 6 από τις 7 εικόνες (εκτός από τη θερμική εικόνα) και δημιουργήθηκαν 6 συνιστώσες - εικόνες. Η συνιστώσα - εικόνα 1 επιλέχτηκε για την περαιτέρω διαδικασία της μελέτης αυτής επειδή παρέχει τις πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία της περιοχής και επειδή συντίθεται από την ίση συμβολή όλων των αρχικών φασματικών ζωνών, γ) *χρήση φίλτρων*, ώστε να αυξηθεί η εδαφική συχνότητα και παράλληλα να ενισχυθούν τα γραμμικά στοιχεία της περιοχής. Τα φίλτρα που επιλέχτηκαν τελικά ήταν: 1) το A 3x3 Left Diagonal Edge, 2) A 3x3 Right Diagonal Edge και 3) A 5x5 Edge Enhance (Erdas Imagine[®] 8.6)

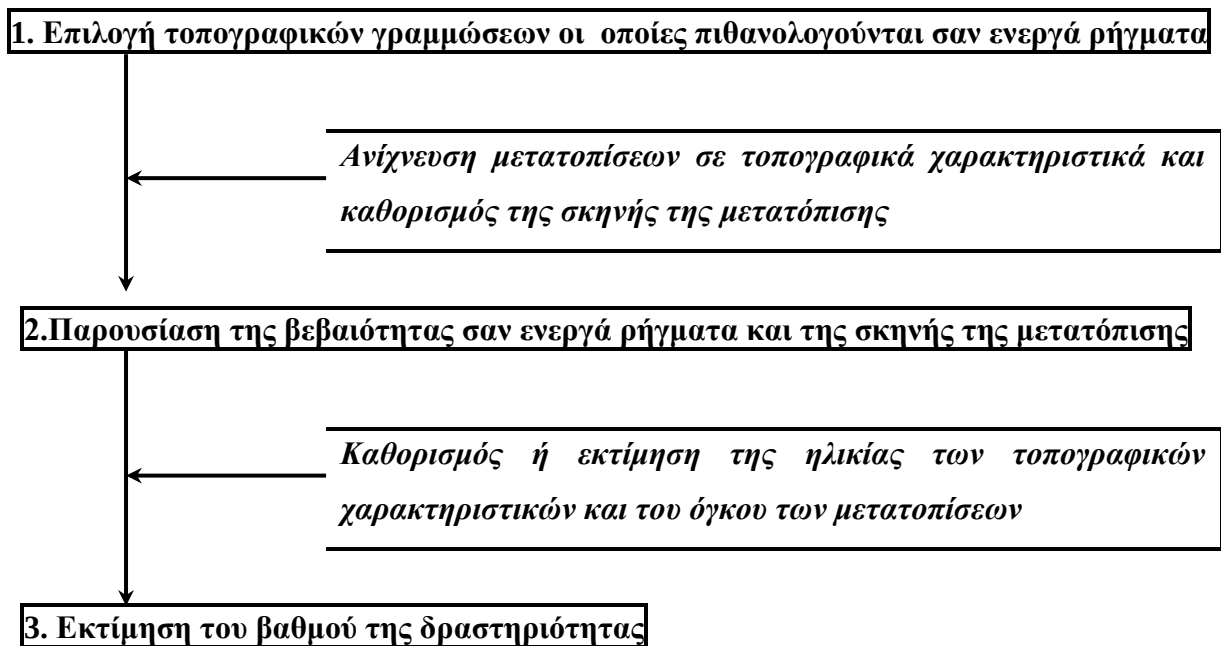
Τέλος, αρκετοί ερευνητές για την ανίχνευση και χρησιμοποίησαν την ανίχνευση ενεργών ρηγμάτων εικόνες Landsat TM σε συνδυασμό με κάποιο άλλο δορυφορικό σύστημα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι **Ganas A. et al** (2001), οι οποίοι χρησιμοποίησαν εικόνες από τον Landsat TM και τη μέθοδο SAR Inteferometry για τη δημιουργία του DEM της περιοχής μελέτης. Οι **Kaya S. & Müftüoğlu O.** (2004) με τη σειρά τους, χρησιμοποίησαν εικόνες από τον Landsat TM σε συνδυασμό με το παγχρωματικό του SPOT HRV (High Resolution Visible). Σκοπός του συνδυασμού αυτού ήταν η δημιουργία νέων εικόνων που θα διέθεταν χωρική ανάλυση 10 μέτρα (όσο είναι δηλαδή η χωρική διακριτική ικανότητα της παγχρωματικής εικόνας του SPOT). Με τον τρόπο αυτό επιτύγχανε την ενίσχυση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής και κατά συνέπεια την ευκολότερη ερμηνείας της. Τέλος, οι **Fu B & Lin A.** (2003) χρησιμοποίησαν εικόνες από τρεις διαφορετικούς δορυφόρους: Landsat ETM,

SPOT HRV παγχρωματικό και ASTER VNIR (Visible & Near- Infrared). Σκοπός τους ήταν να συγκρίνουν τις σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες και τη παγχρωματική του Landsat ETM , τη παγχρωματική του SPOT HRV και την εικόνα από τον ASTER VNIR ώστε να καταγράψουν τις διαφορές και να εντοπίσουν τις συν-σεισμικές εδαφικές ρωγμές που παρουσιάζουν οι εικόνες κάθε συστήματος πριν και μετά το σεισμό.

3.2. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στη τελική μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να εντοπίσουμε τα ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του Ταυγέτου.

Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιήσουμε τη συνδυαστική μεθοδολογία χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές εικόνες, το DEM, τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες καθώς και δεδομένα από τη σεισμικότητα της περιοχής μελέτης. Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων για την ανάδειξη των φωτογραμμώσεων, που θα πραγματοποιηθεί παρακάτω, συμπεριλαμβάνει τη δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων, την ένωση τους με την παγχρωματική εικόνα και την εφαρμογή γραμμικών φίλτρων. Τα παραπάνω θα εισαχθούν σε ένα περιβάλλον ΓΣΠ μαζί με τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες. Επίσης, με τη 3D απεικόνιση του DEM αναδεικνύονται οι γραμμώσεις του αναγλύφου και το υδρογραφικό δίκτυο. Από τους τοπογραφικούς χάρτες θα ψηφιοποιηθεί το υδρογραφικό δίκτυο ώστε να εντοπιστούν τυχόν μετατοπίσεις του. Επιπλέον, από τους γεωλογικούς χάρτες θα ψηφιοποιηθούν οι γεωλογικές ενότητες διαχωρίζοντας τις τεταρτογενείς και ολοκαινικές αποθέσεις καθώς και τα ρήγματα ώστε να γίνει σύγκριση με τις φωτογραμμώσεις που έχουν προκύψει από την ερμηνεία των ψευδέγχρωμων εικόνων. Τέλος, θα εξεταστεί η ιστορική και ενόργανη σεισμικότητα της συγκεκριμένης περιοχής ώστε να διαπιστωθεί τυχόν συσχέτιση των ρηγμάτων με τα επίκεντρα των σεισμών.



Εικόνα 3.1: Διαδικασία για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων στη ξηρά χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες. (Παπανικολάου Δ., 2000)

4. Μελέτη ευρύτερης περιοχής Ταϋγέτου

4.1. Εισαγωγή

Ως περιοχή μελέτης επιλέχτηκε η ευρύτερη περιοχή της οροσειράς του Ταϋγέτου. Το ανάγλυφο της περιοχής αυτής χαρακτηρίζεται από μία έντονη τεκτονική δομή. Από την ανατολική πλευρά του Ταϋγέτου υπάρχουν έντονα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά που οφείλονται σε σημαντικούς ιστορικούς σεισμούς και στο ρήγμα της Σπάρτης. Βέβαια, στην περιοχή αυτή δεν έχει παρατηρηθεί σεισμός σημαντικού μεγέθους τα νεότερα χρόνια. Αντιθέτως, από τη δυτική πλευρά του Ταϋγέτου αν και δεν υπάρχει παρόμοια ρηξιγενή ζώνη σε χερσαία περιοχή με έντονα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά, τα νεότερα χρόνια συνέβησαν μεγάλοι σεισμοί με αποκορύφωμα το σεισμό στη Καλαμάτα στις 13 Σεπτεμβρίου το 1986, όπου υπήρξαν μεγάλες καταστροφές και πολλοί νεκροί.

4.1.1 Γεωγραφική τοποθέτηση

Ο Ταϋγετος μαζί με τον Πάρνωνα θεωρούνται από τα αρχαιότερα βουνά της Πελοποννήσου⁴, ωστόσο, η οροσειρά του Ταϋγέτου ή Πενταδάκτυλου είναι η υψηλότερη οροσειρά της Πελοποννήσου. Ο Ταϋγετος, έχει ένα έντονο ανάγλυφο που κυμαίνεται μεταξύ 300 μ. και 2400 μ.. Επίσης, έχει μήκος 115 χιλιόμετρα, μέγιστο πλάτος 30 χιλιόμετρα και έκταση 2.500 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Συγκροτείται από τέσσερα κύρια τμήματα: α) το Βόρειο (προς την Μεγαλόπολη), β) το Μέσο Ανατολικό (προς την Σπάρτη), γ) το Δυτικό και δ) το Νότιο Ταϋγετο που σχηματίζει τη χερσόνησο της Μάνης η οποία και καταλήγει στο Ακρωτήριο Ταίναρο⁵. Δύο φαράγγια χωρίζουν τον Ταϋγετο, το ένα της «Μεγάλης Λαγκάδας», που χωρίζει το Βόρειο από τον Κεντρικό Ταϋγετο στο ύψος του χωριού Τρύπη, συνδέοντας τη Σπάρτη με τη Καλαμάτα, και το δεύτερο στη περιοχή Αρεόπολη – Κότρωνας, γνωστό και ως Σαγιάς, που χωρίζει τον Κεντρικό από το Νότιο Ταϋγετο, συνδέοντας την Αρεόπολη με το Γύθειο. Επίσης, στο βόρειο Ταϋγετο υπάρχουν μικρές κορυφές: Ξεροβούνα (1.852μ.), Νεραϊδόβραχος (1.784μ.), Λεπενού (1.733μ.) κ.ά. Στο Κεντρικό Ταϋγετο βρίσκονται οι ψηλότερες κορφές του: Προφήτης Ηλίας⁶

⁴ Πηγή: <http://www.mani.org.gr/taigetos/>

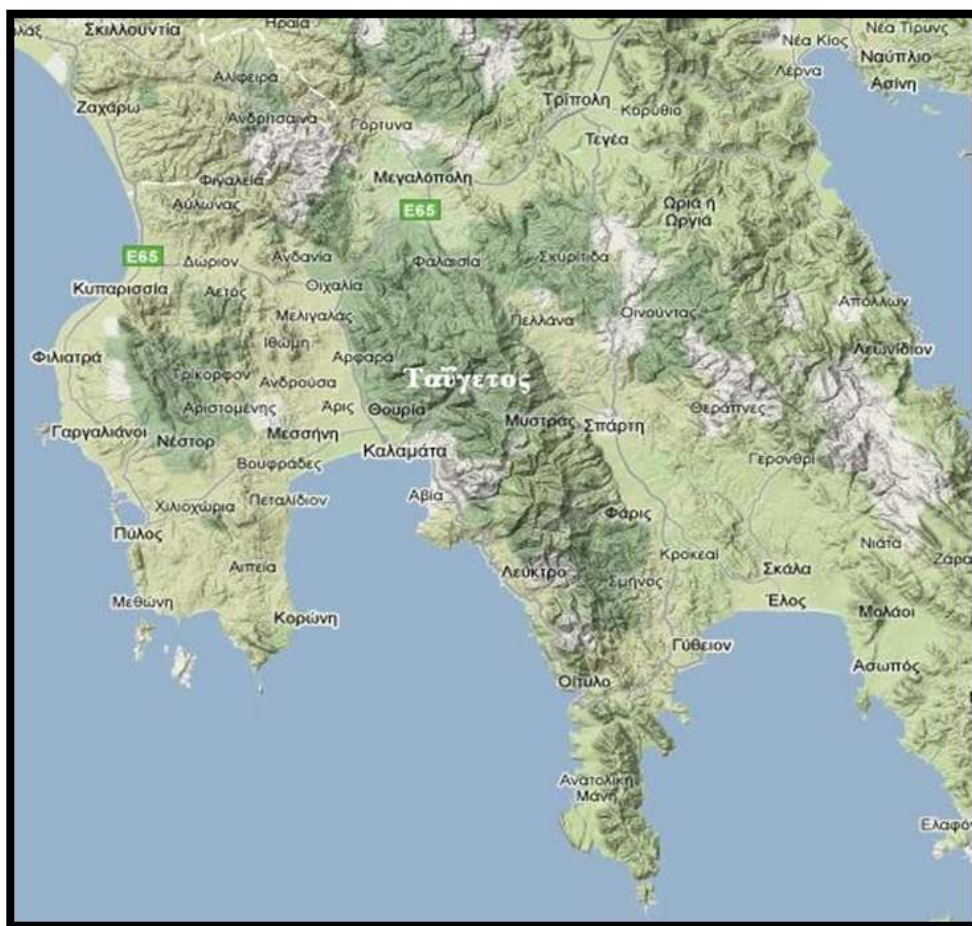
⁵ Το ακρωτήριο Ταίναρο είναι το νοτιότερο σημείο όχι μόνο της ηπειρωτικής Ελλάδας αλλά και ολόκληρης της ευρωπαϊκής ηπείρου. Το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου (4850m) βρίσκεται 62 μίλια νοτιοδυτικά του ακρωτηρίου.

⁶ Η κορυφή του Προφήτης Ηλίας βρίσκεται στο ανώτερο μέρος της τοποθεσίας που ονομάζεται Πυραμίδα, λόγω του χαρακτηριστικού σχήματος της

(2407μ.), Σιδηρόκαστρο (2.228μ.), Χαλασμένο βουνό (2.204μ.), Βασιλικό Βουνό (2.100μ.), Σπανακάκι (2.098μ.), Νεραϊδοβούνα (2.031μ.), Αϊ Γιώργης (2019μ.), η Ζίζιαλη (1468μ.) κ.ά. Στο Νότιο Ταΰγετο, το Σαγιά, η ψηλότερη κορφή του έχει υψόμετρο 1.217μ., ενώ υπάρχουν και μικρότερες κορυφές: Προφήτης Ηλίας της Φραγκούλιας (1.137μ.), Προφήτης Ηλίας στον Πύργο Δυρού (1.079μ.), οροπέδιο του Νικολακάκου σε υψόμετρο 866μ. μεταξύ Κίττας - Λάγειας - Ολυμπιών κ.ά.

Η οροσειρά εκτείνεται, επίσης, μεταξύ των λεκανών Μεγαλόπολης - Ευρώτα και Μεσσηνίας. Η λεκάνη της Μεγαλόπολης είναι ένα τεκτονικό βύθισμα, μήκους 22χλμ. και πλάτους 10χλμ., που αποτελούσε λίμνη κατά την τριτογενή περίοδο του καινοζωικού αιώνα και τέλμα κατά την επόμενη τεταρτογενή περίοδο. Οι φυτικές ύλες που συγκεντρώθηκαν και αποσυντέθηκαν εκεί έχουν σχηματίσει επιφανειακά κοιτάσματα λιγνίτη πάχους 65μ., τα μεγαλύτερα της Ελλάδας μαζί με αυτά της Πτολεμαΐδας. Τα όρη Λύκαιο και Τερτάζιο περικλείουν τη λεκάνη της Μεγαλόπολης στα δυτικά και τη χωρίζουν από τη σχετικά εύφορη μεσσηνιακή πεδιάδα, ενώ οι πλευρές της περιβάλλεται από το Μαίναλο, τον Ταΰγετο και τον Πάρνωνα. Επιπρόσθετα, η λεκάνη της Μεσσηνίας σχηματίζεται στο κεντρικό τμήμα του νομού Μεσσηνίας και διασχίζεται από τον ποταμό Πάμισο. Το βόρειο τμήμα της ονομάζεται πεδιάδα του Μελιγαλά και το νότιο πεδιάδα της Καλαμάτας. Τέλος, η λεκάνη του Ευρώτα (ή Λακωνίας) διασχίζεται από τον ομώνυμο ποταμό και συνίσταται από την πεδιάδα της Σπάρτης στα βόρεια και νοτιότερα από την προσχωσιγενή πεδιάδα του Έλους, που φτάνει μέχρι τον Λακωνικό κόλπο. Η πεδιάδα του Έλους παλαιότερα αποτελούσε μια βαλτώδη περιοχή, η οποία έχει αποστραγγιστεί σήμερα και καλλιεργείται⁷.

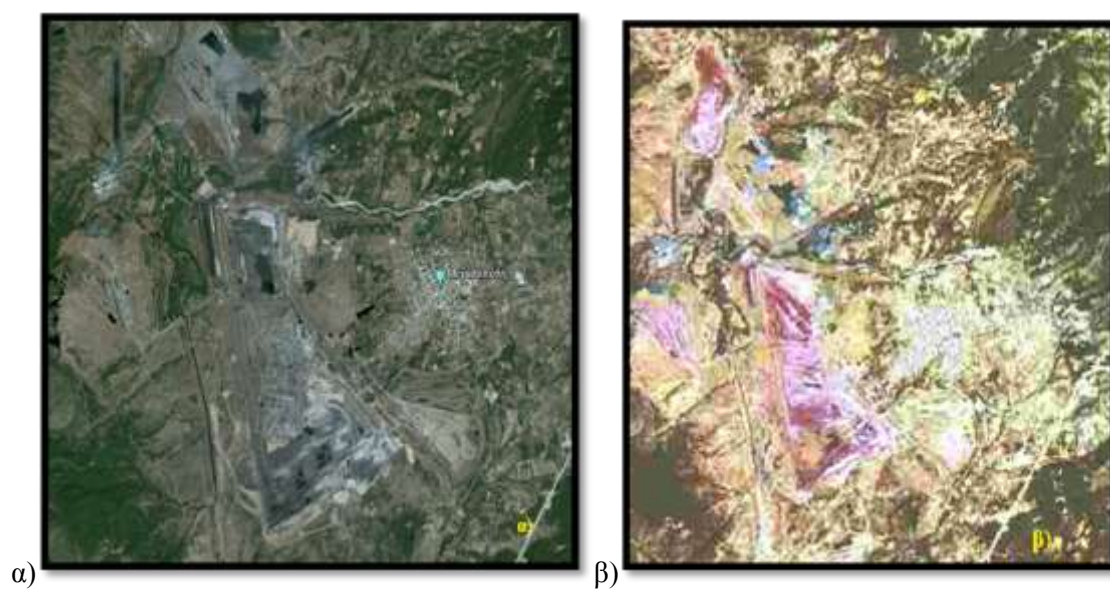
⁷ Εγκυκλοπαίδεια Ελλάδα τόμος «Νομός Αρκαδίας», «Νομός Λακωνίας», «Νομός Μεσσηνίας», Εκδόσεις Δομή



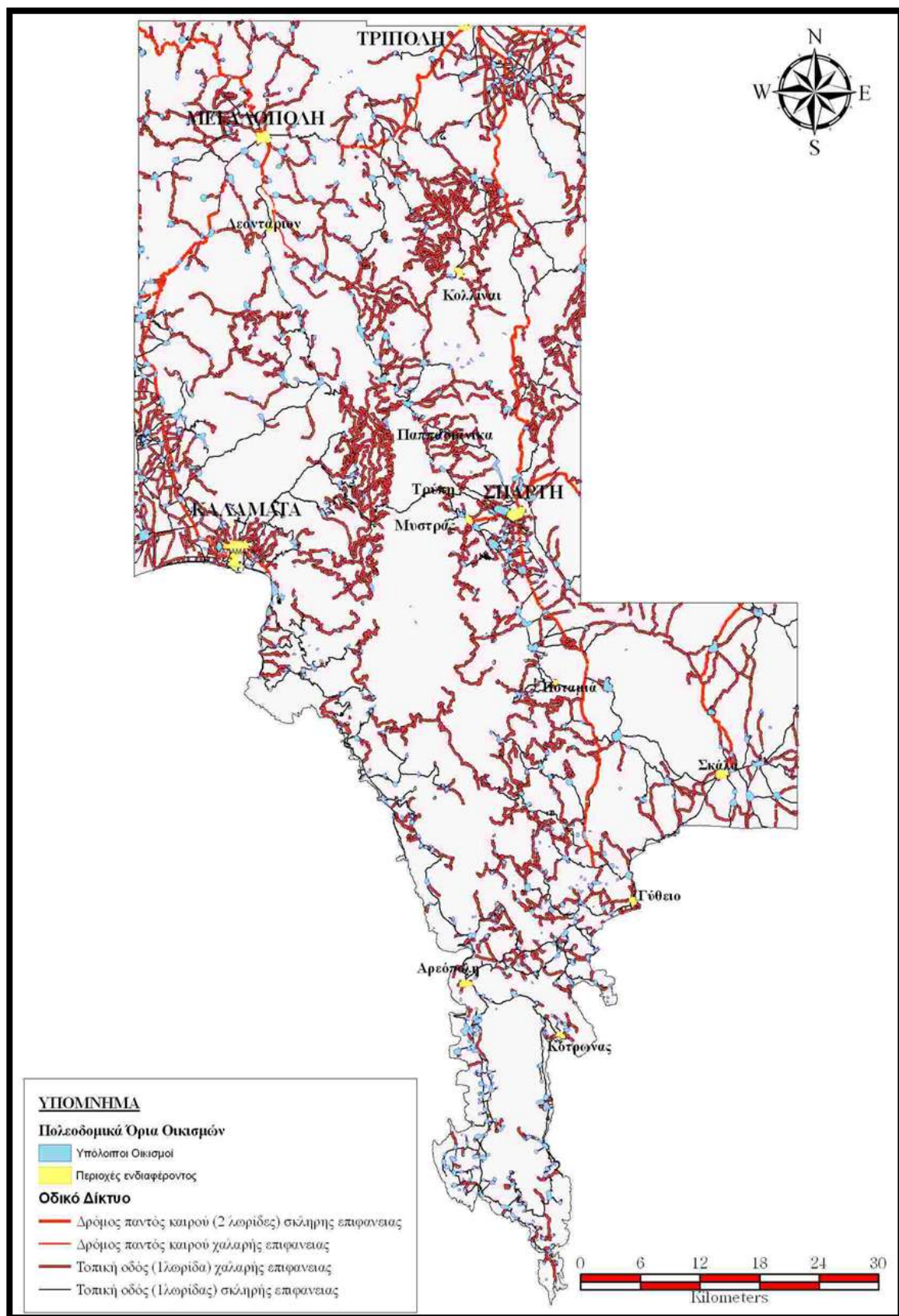
Εικόνα 4.1 : Χωροθέτηση της οροσειράς Ταΰγετος
(Πηγή:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taygetos_relief_map-de.png)



Εικόνα 4.2 : Κορυφή Προφήτη Ηλία (Πηγή:Google Earth 2009)



Εικόνα 4.3 : Ορυχεία λιγνίτη στη Μεγαλόπολη, α) άποψη από το Google Earth 2009
 β) Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,1 RGB Landsat ETM+ (ημ/νία λήψης 2000)



Εικόνα 4.4: Το οδικό δίκτυο και οι σημαντικότεροι οικισμοί στην ευρύτερη περιοχή του Ταυγέτου

4.1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ / ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τα πετρώματα που απαντώνται στην Πελοπόννησο διακρίνονται σε τρεις μεγάλες ομάδες: τα προαλπικά, τα αλπικά και τα μεταλπικά.

Προαλπικά θεωρούνται τα πετρώματα που έχουν ηλικία παλαιοζωική ή αρχαιότερη, ως αλπικά αυτά που η ηλικία τους είναι τριαδική έως και κατωμειοκαινική και ως μεταλπικά τα πετρώματα με ηλικία νεότερη του Κατώτερου Μειοκαίνου τα οποία αποτέθηκαν μετά την τελική πτύχωση των αλπικών σχηματισμών και τη δημιουργία των Ελληνίδων οροσειρών.

Προαλπικά ιζήματα: Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται η φυλλιτική σειρά (ph) Πελοποννήσου και τα στρώματα Τυρού (rt).

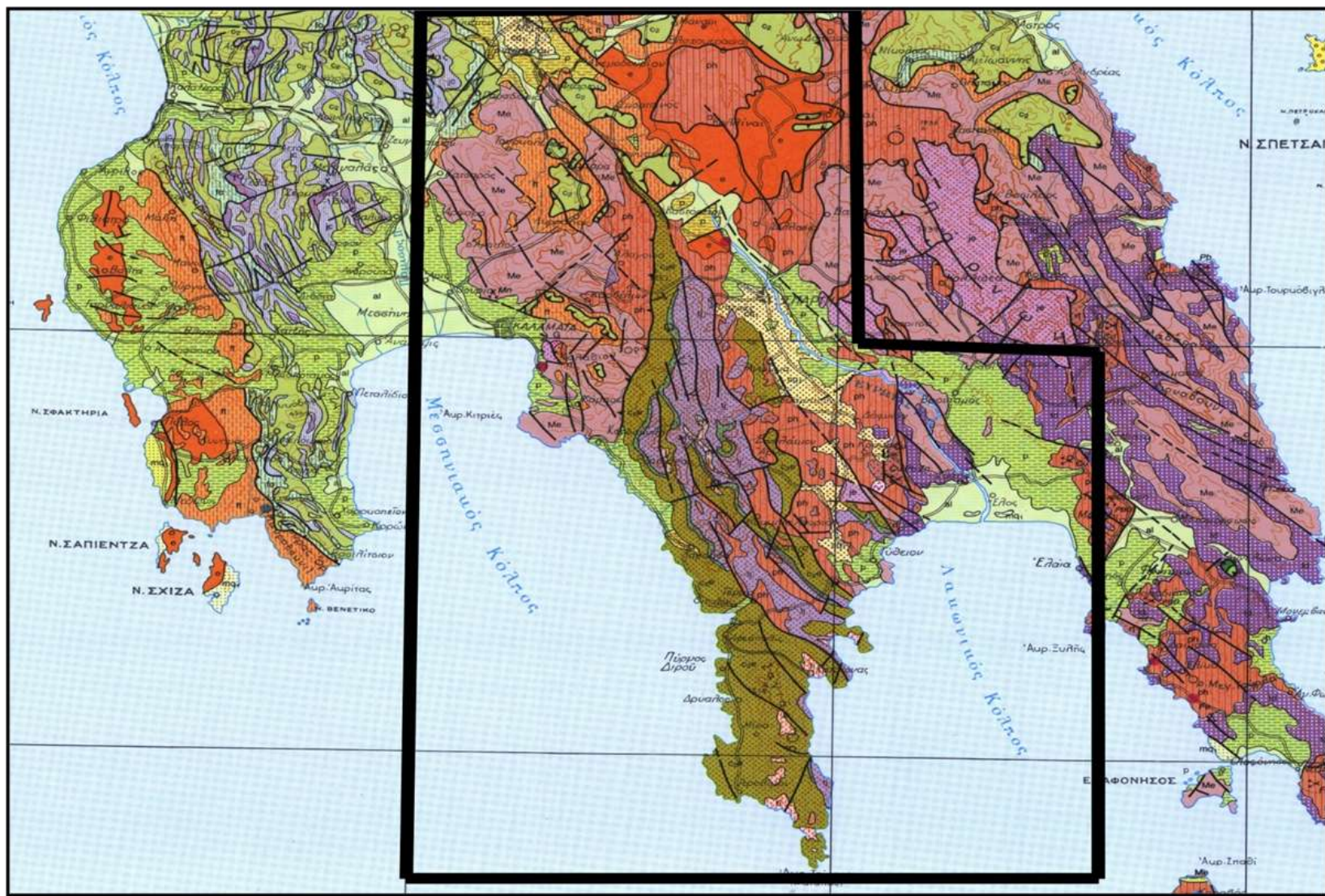
Αλπικοί σχηματισμοί: Τα αλπικά ιζήματα τα οποία αποτέθηκαν στον ελλαδικό χώρο πριν το Κατωτ. Μειόκαινο και με την πτύχωσή τους σχημάτισαν τις Ελληνίδες οροσειρές, έχουν διαρθρωθεί σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες, δηλαδή σε διάφορες μεγάλες γεωλογικές ενότητες, που η κάθε μια από αυτές έχει τους δικούς της λιθολογικούς, παλαιογεωγραφικούς και τεκτονικούς χαρακτήρες και έχει διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια του Αλπικού ιζηματο-ορογενετικού κύκλου. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται τρεις γεωτεκτονικές ζώνες: η ζώνη της Πίνδου, η ζώνη Τριπόλεως και η Ιόνιος ζώνη (Κατσικάτσος Γ. Χ., 1992).

- Η ζώνη της Πίνδου αποτελείται από μια κερατολιθική σειρά στη βάση της, ασβεστόλιθους και φλύσχη. Εφιππεύει τη ζώνη Τριπόλεως και την Ιόνια ζώνη.
- Η ζώνη Τριπόλεως αποτελείται από μια φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά, ασβεστόλιθους, δολομίτες και φλύσχη. Εφιππεύει την Ιόνια ζώνη.
- Η Ιόνιος ζώνη αποτελείται από φυλλίτες, ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους και φλύσχη.

Μεταλπικά ιζήματα: Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται κυρίως από κλαστικά ιζήματα θαλάσσιας, λιμναίας ή χερσαίας φάσης και βρίσκονται πάντοτε ασύμφωνα πάνω στους υποκείμενους σχηματισμούς. Η απόθεση των σχηματισμών αυτών έχει γίνει κυρίως σε τεκτονικές τάφρους, που δημιουργήθηκαν από το ρηξιγενή τεκτονισμό των Αλπικών

οροσειρών. Τα ρήγματα που σχημάτισαν τις τάφρους αυτές είναι στη μεγάλη τους πλειοψηφία ρήγματα κανονικά, όπως στην περίπτωση των λεκανών της Μεσσηνίας, Λακωνίας και Μεγαλόπολης (Κατσικάτσος Γ. Χ., 1992).

Συγκεκριμένα, η δυτική πλευρά της λεκάνης της Λακωνίας οριοθετείται από μια μεγάλη ρηξιγενή ζώνη η οποία αποτελεί ένα από τα εντυπωσιακότερα συστήματα κανονικών ρηγμάτων. Έχει μήκος 60 χλμ, διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και βύθιση προς την ανατολή. Το τμήμα της ζώνης αυτής μεταξύ της Σπάρτης και της Ποταμιάς προς τα νότια, ονομάζεται «ρήγμα της Σπάρτης». Το ρήγμα αυτό, έχει μήκος περισσότερο από 22 χλμ και βρίσκεται ακριβώς 5 χλμ δυτικά από την αρχαία πόλη της Σπάρτης. Οι μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος αυτού του ρήγματος αναφέρουν ότι πρέπει να είναι τεκτονικά ενεργό όχι μόνο κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς αλλά και του Ολόκαινου (Papanastassiou D. et al., 2005).



Εικόνα 4.5: Γεωλογικός Χάρτης Νότιου Πελοποννήσου (επισήμανση περιοχής μελέτης)
(από το γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1: 500.000)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Μεταλλικά ιζήματα



Ολόκαινο (Αλλούβιο)

Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων και παράκτιες αποθέσεις



Πλειστόκαινο

Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, πηλοί, άμμοι, , κοκκινοχώματα κλπ. Θαλάσσιες αποθέσεις: μάργες, άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, παράκτιες αναβαθμίδες



Πλειόκαινο

Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άμμοι, άργιλοι, μάργες, , μαργαϊκοί, ασβεστόλιθοι και συχνά στρώματα λιγνίτη. Θαλάσσιες αποθέσεις: τα προηγούμενα κλαστικά ιζήματα

Ιόνιος Ζώνη

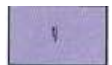


Φλύσχης



Παλαιόκαινο

Ασβεστόλιθοι



Ασβεστόλιθοι φάσεως «Παντοκράτορος»

Ημιμεταμορφωμένη σειρά Πελοποννήσου



Φλύσχης ημιμεταμορφωμένος



Σενώνιο – Εώκαινο

Σειρά «πλακωδών ασβεστολίθων»



Ιουρασικό – Εώκαινο

όλη η σειρά των «πλακωδών ασβεστολίθων» μη διαχωριζομένων

Ζώνη Τριπόλεως



Φλύσχης



Παλαιόκαινο – Μέσο Εώκαινο

Ασβεστόλιθοι



Μεσοζωϊκό – Εώκαινο

Ασβεστόλιθοι και δολομίτες μη διαχωριζόμενοι



Μέσο- Ανώτερο Τριαδικό

Κυρίως δολομίτες



Ζώνη Πίνδου

Ανώτερο Κρητιδικό

Πελαγικοί ασβεστόλιθοι

Προαλπική Σειρά



Περμοτριάδικό

Φυλλιτική σειρά (ph) Πελοποννήσου – Κρήτης
Στρώματα Τυρού στη Πελοπόννησο (rt)



Γεωλογικό Όριο



Ρήγμα



Ρήγμα Πιθανό



Τεκτονική επαφή (κυρίως εφίπλευση)



Επώθηση

4.1.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο Ταΰγετος έχει ασβεστολιθικά πετρώματα εναλλασσόμενα με σχιστόλιθο, ενώ το πέτρωμα από τα μαύρα ζωνάρια ή στεφάνια, τα οποία σχηματίζει ο κρυσταλλικός σχιστόλιθος, είναι ιδανικό ως ακόνι για τρόχισμα εργαλείων. Τα πλούσια ασβεστολιθικά πετρώματα, είναι πορώδη και στο πέρασμα των αιώνων τα νερά της βροχής και του χιονιού που κάθε χρόνο διαπερνούν τα έγκατα του βουνού δημιούργησαν πολλά αξιόλογα σπήλαια με πλούσιο διάκοσμο και φυσική ομορφιά. Τα νερά βρίσκουν διέξοδο στη θάλασσα ως υποθαλάσσιες εκβολές και είναι οι αποκαλούμενοι ανάβαλοι. Μέχρι σήμερα έχουν καταμετρηθεί 116 και 22 υπόγειοι ποταμοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα υπόγεια ποτάμια στη Γλυφάδα των σπηλαίων του Δυρού, του Δράκου που εκβάλλει στο χωριό Άγιος Δημήτριος του Δήμου Λεύκτρου, όπου και το σπήλαιο «καταφύγι Σελίνιτσας» που έχει σχηματισθεί σε παλαιότερη κοίτη υπόγειου ποταμού, στη Στούπα και αλλού⁸.



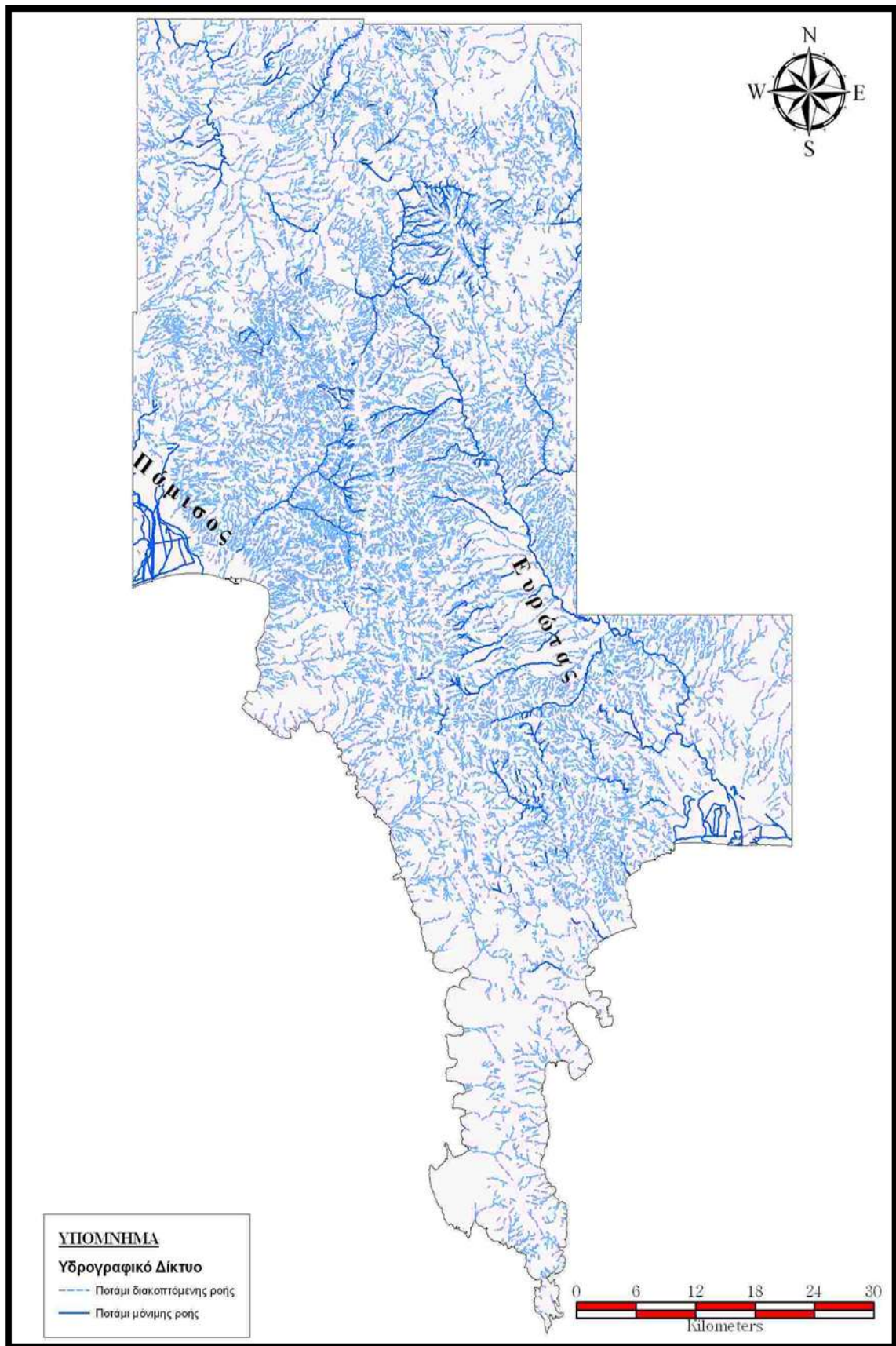
Εικόνα 4.6: Σπήλαιο Δυρού

Γενικότερα, η οροσειρά του Ταΰγету αποτελεί τον υδροκρίτη μεταξύ της λεκάνης του Ευρώτα και της Μεσσηνιακής πεδιάδας. Στην οροσειρά σχηματίζονται δυο ποταμοί, ο Πάμισος στις βορειοδυτικές πλαγιές και ο Νέδων στην περιοχή της Αλαγονίας, καθώς και

⁸ Πηγή: <http://www.mani.org.gr/taigetos/>

πολλά μικρότερα υδάτινα ρεύματα, ορισμένα από τα οποία τροφοδοτούν και τον ποταμό Ευρώτα (97χλμ). Ανάμεσα στα ρέματα της ανατολικής πλευράς της οροσειράς είναι ο Ξερίλας, το Βρυσιώτικο και η Λαγκάδα στο βόρειο τμήμα, η Κερασιά, ο Βαρβαράς, η Φτερωτή και ο Βαρδούνιας στο κεντρικό τμήμα και το Βαγιολάγκαδο και ο Μάραθος στο νότιο τμήμα. Στη δυτική πλευρά σχηματίζονται, επίσης, αρκετά ρέματα⁹.

⁹ Εγκυκλοπαίδεια Ελλάδα «Νομός Λακωνίας», Εκδόσεις Δομή



Εικόνα 4.7: Υδρογραφικό Δίκτυο ευρύτερης περιοχής Ταυγέτου

Όσον αφορά το κλίμα του είναι γενικά ηπειρωτικό, με μεγάλες χιονοπτώσεις κατά την διάρκεια τού χειμώνα. Πιο αναλυτικά, διακρίνουμε τέσσερις κλιματικές ζώνες. Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει τις χαμηλές πλαγιές με κλίμα μεσογειακό. Ανεβαίνοντας συναντάμε την ορεινή ζώνη όπου ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από βροχές και χιόνια με διάρκεια 4 μηνών (Δεκέμβριο – Μάρτιο). Στη συνέχεια βρίσκεται η υποαλπική ζώνη και λίγο πιο πάνω η αλπική με συχνές χιονοπτώσεις όπου είναι δυνατόν το χιόνι να καλύπτει ακόμη και για μισό χρόνο την περιοχή¹⁰.

¹⁰ Πηγή:

http://www.messinia.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=162&Itemid=60&lang=el

4.1.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σύμφωνα με τον κατάλογο του Παπαζάχου (2000, 2009) (βλ. Παράρτημα, Πίνακα 2, εικόνα 4.8), παρουσιάζεται η σεισμικότητα στην περιοχή μελέτης. Ο κατάλογος αυτός παρουσιάζει επίκεντρα σεισμών από το 550 π.Χ. μέχρι το 2008 με μέγεθος ροπής $M_w > 4,5$. Η ιστορική σεισμικότητα (550π.Χ - 1900), που παρουσιάζεται πιο έντονα από τη πλευρά της Σπάρτης, εμφανίζει σεισμούς με εκτιμώμενο μέγεθος $M_w > = 6$. Αντιθέτως, η ενόργανη σεισμικότητα (1900-2008) παρουσιάζεται πιο έντονη από τη πλευρά της Καλαμάτας με σεισμούς των οποίων τα μεγέθη είναι $M_w > 4,5$. Γενικότερα, από τη πλευρά της Μεσσηνίας οι σεισμοί εμφανίζονται περισσότεροι και με μεγαλύτερα μεγέθη σε σχέση με τη πλευρά της Λακωνίας κυρίως μετά το 1800, με εξαίρεση το σεισμό του 1867. Επίσης, από τη δυτική πλευρά παρουσιάζονται αρκετοί υποθαλάσσιοι σεισμοί οι οποίοι συνδέονται πιθανότατα με υποθαλάσσια ρήγματα.

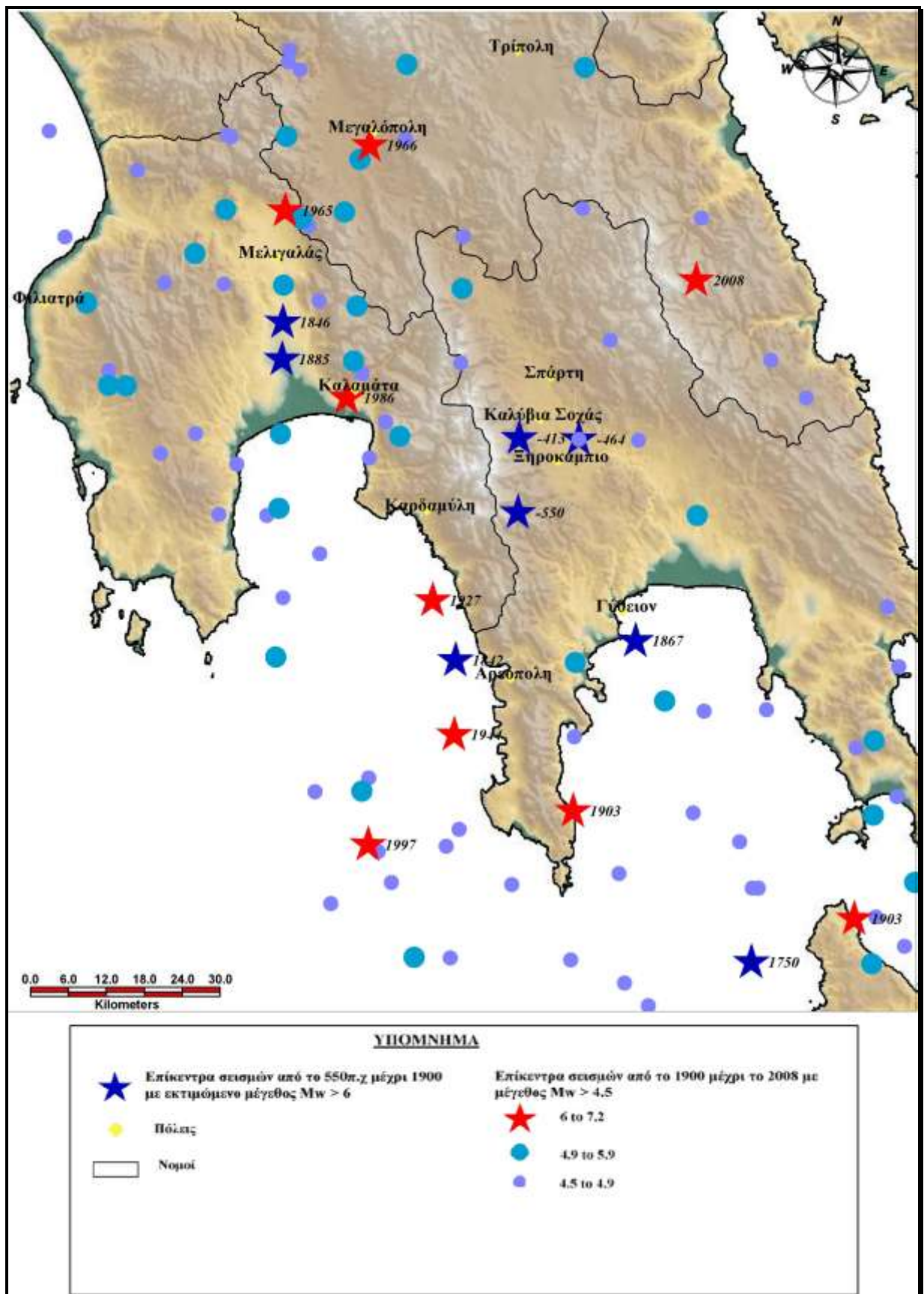
Η περιοχή της Σπάρτης παρουσιάζει τρεις καταστροφικούς σεισμούς σύμφωνα με τους ιστορικούς. Συγκεκριμένα, ο πρώτος μεγάλος σεισμός καταγράφεται το 550 π.Χ. Το μέγεθος του σεισμού υπολογίζεται περίπου στα $M_w = 7$ και έντασης¹¹ IX. Από τα έργα των Κικέρωνα, Στράβωνα και Πλινίου προκύπτει ότι ο σεισμός κατέστρεψε τη Σπάρτη και προκάλεσε καταρρεύσεις βράχων από τον Ταΰγετο, οι οποίες προξένησαν πρόσθετες καταστροφές. Λέγεται σύμφωνα με το Κικέρωνα, ότι ο Αναξίμανδρος ο Μιλήσιος, κατά την παραμονή του στη Σπάρτη πρόβλεψε αυτό το σεισμό και οι Σπαρτιάτες διανυκτέρευσαν έξω από τα σπίτια τους και έτσι γλίτωσαν απ' αυτόν (Παπαζάχος B.& Παπαζάχου K., 2003).

Ο δεύτερος σεισμός που καταγράφεται από τα κείμενα των Διόδωρου Σικελιώτη, Αιλιανού, Πλουτάρχου, Στράβωνα και Παυσανία προκύπτει ότι το 464 π.Χ. Ο σεισμός θεωρείται ο πιο γνωστός καταστρεπτικός σεισμός που έπληξε τη Σπάρτη. Μόνο 5 σπίτια έμειναν όρθια και σκοτώθηκαν από τη πτώση του γυμναστηρίου οι έφηβοι, ενώ γλίτωσαν τα παιδιά, γιατί λίγο προ του σεισμού έφυγαν να κυνηγήσουν ένα λαγό που εμφανίστηκε. Ο τάφος των εφήβων ονομάστηκε «Σεισματίας». Ο σεισμός υπολογίζεται περίπου ότι είναι μεγέθους $M_w = 6,8$ με ένταση X. Ο τρίτος σεισμός καταγράφεται το 413 π.Χ. ,μεγέθους

¹¹ Ένταση σεισμού εννοούμε ένα μέτρο των μικροσεισμικών αποτελεσμάτων και κατά κύριο λόγο ένα μέτρο των αποτελεσμάτων του σεισμού στους ανθρώπους και στις τεχνικές κατασκευές (Παπαζάχος B. K, 1999) (βλ. Παράρτημα, Πίνακας 1)

$M_w = 6$. Σύμφωνα με το Θουκυδίδη, όταν οι Σπαρτιάτες σκέφτονταν να στείλουν ναυτική αποστολή για να υποστηρίξουν τη Χίο στην εξέγερση της εναντίον των Αθηναίων, έγινε ένας σεισμός (Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ., 2003).

Από την πλευρά της Μεσσηνίας σημαντική είναι οι σεισμοί το 1846 μεγέθους $M_w = 6,5$ και έντασης X, όπου σύμφωνα με το Perrey (1848), όπως αναφέρει Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ. (2003), δεν έμεινε ούτε ένα σπίτι όρθιο στη πόλη Νησί (Μεσσήνη), στη Μικρομάνη και σε μερικά χωριά. Σε άλλα 17 χωριά προκλήθηκαν σοβαρές ζημιές ενώ η πόλη της Καλαμάτας υπέφερε λιγότερο. Ο σεισμός έγινε αισθητός μέχρι μία απόσταση 470 χλμ. Ο επόμενος μεγάλος σεισμός ήταν το 1885 στην ίδια περιοχή μεγέθους 6,1 ρίχτερ και έντασης IX, όπου στις περιοχές Μεσσήνη, Μάνεσι και Λοΐ προκλήθηκαν και καταρρεύσεις σπιτιών. Ο σεισμός έγινε αισθητός μέχρι μια απόσταση 180 χλμ (Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ., 2003). Ωστόσο, ο πιο σημαντικός σεισμός για την περιοχή είναι το 1986 στη Καλαμάτα, όπου προκλήθηκαν μεγάλες βλάβες στη πόλη της Καλαμάτας και ιδιαίτερα στη συνοικία Γιαννιτσάνικα. Από το σύνολο των κτιρίων της Καλαμάτας μόνο το 28% δεν έπαθαν βλάβη ενώ το 20% κρίθηκαν κατεδαφιστέα. Επίσης, βράχοι κατρακύλησαν από τον Ταΰγετο και έφραξαν τον εθνικό δρόμο Σπάρτης- Καλαμάτας επί 24 ώρες (Papazachos et al., 1988).



Εικόνα 4.8: Επίκεντρα Σεισμών από το 550π.Χ. μέχρι το 2008 στη νότια Πελοπόννησο

4.1.5 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για τη μελέτη αυτή, θα χρησιμοποιήσουμε τις δορυφορικές εικόνες από το Landsat ETM+, τους αντίστοιχους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες της περιοχής, καθώς και το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών πραγματοποιήθηκε μέσω του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) Geomedia Professional[®] 6 και του λογισμικού επεξεργασίας ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων Erdas Imagine[®] 9.1 / TNTmips / Pro[®] 2009.

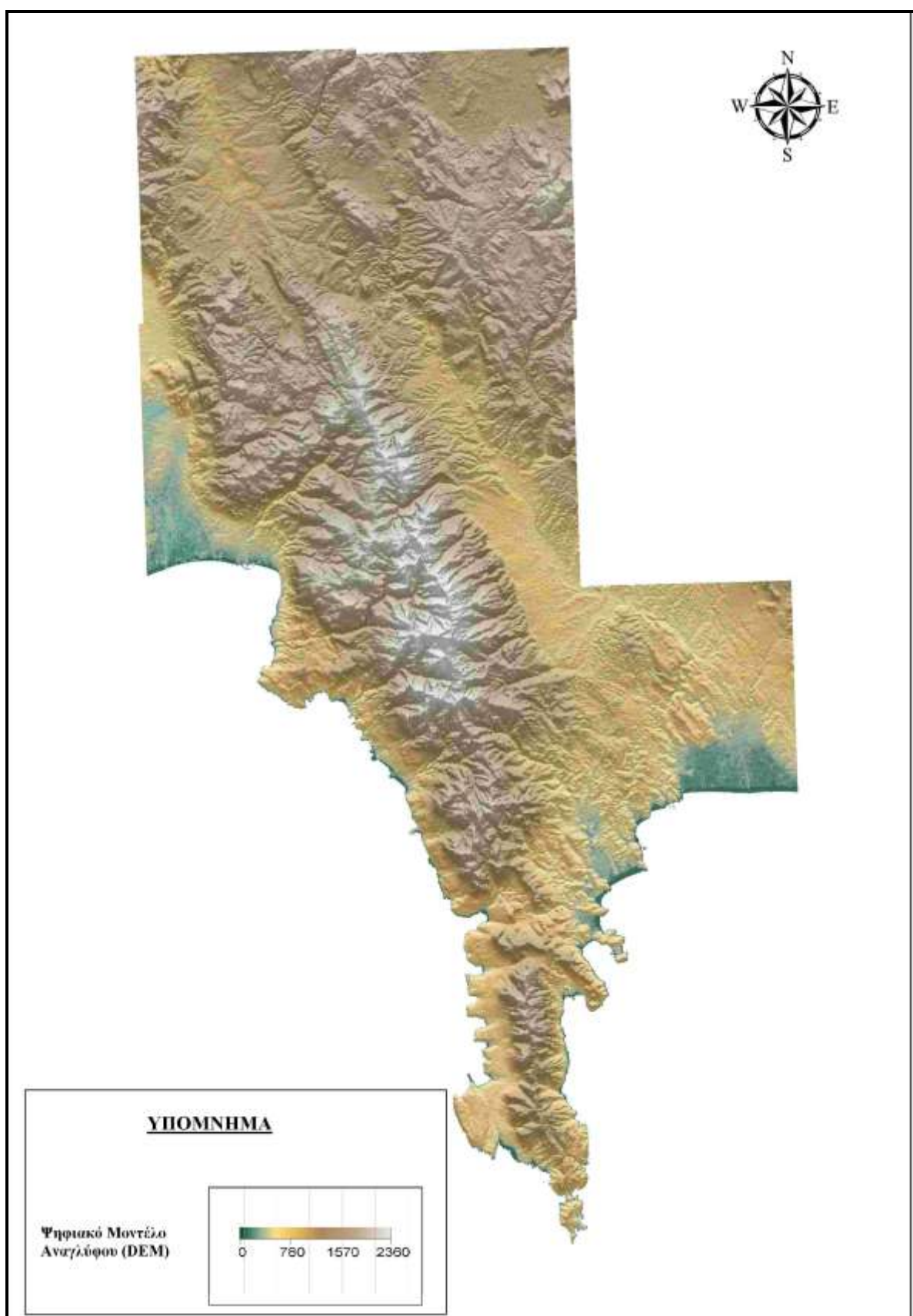
Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Οι Τοπογραφικοί χάρτες των περιοχών Μεγαλόπολη, Κολλίναι , Καλαμάτα, Σπάρτη, Καρδαμύλη, Ξηροκάμπιον, Γύθειο, Αρεόπολις, Γερολιμνή και Μαυροβούνιον της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), κλίμακας 1:50.000, σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987) .
- Οι Γεωλογικοί χάρτες των περιοχών Μεγαλόπολη, Κολλίναι , Καλαμάτα, Σπάρτη, Καρδαμύλη, Ξηροκάμπιον, Γύθειο και Αρεόπολις- Γερολιμνή- Μαυροβούνιον του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), κλίμακας 1:50.000, σε σύστημα συντεταγμένων ED 50 (European Datum 1950) .
- Οι Δορυφορικές εικόνες του Landsat ETM+ στην Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική προβολή (Universal Transverse Mercator, UTM) WGS 84 (World Geodetic System 1984), οι οποίες επιλέχτηκαν λόγω της μηδενικής νεφοκάλυψης, ώστε να είναι ευδιάκριτα τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των περιοχών. Τα χαρακτηριστικά των εικόνων αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.
- Το DEM (30m) της περιοχής, το οποίο προμηθευτήκαμε από την ιστοσελίδα <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>, στις 24/02/2010. Δημιουργήθηκε από το Ministry of Economy, Trade and Industry της Ιαπωνίας (METI) και το National Aeronautics and Space Administration (NASA) χρησιμοποιώντας δεδομένα του δορυφόρου ASTER.

Τα tiles¹² του DEM είναι σε μορφή GeoTIFF με σύστημα συντεταγμένων WGS84 και τα ύψη σε ακέραιους αριθμούς παραπέμπουν στο γεωειδές EGM96. Επιπλέον,

¹² Tiles: τεμάχια εικόνας

η θεωρητική χωρική διακριτική ικανότητα του DEM είναι στα 30 μ. αλλά στη πράξη, όπως αποδεικνύεται και από τους δύο οργανισμούς που το παρήγαγαν, είναι μεταξύ 100 και 120 μ.



Εικόνα 4.9: Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) περιοχής μελέτης

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων

path	row	Ημερ/νία λήψης	Θέση Ηλίου	
			Sun Elevation ¹³	Sun Azimuth ¹⁴
184	034	15/08/2000	58,21	131,47
183	034	20/05/2000	64,29	126,55
183	035	24/08/2000	56,93	133,41

Η ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων και των χαρτών χωρίζεται σε δύο μέρη:

- την προεπεξεργασία των χαρτών και των δορυφορικών εικόνων που συμπεριλαμβάνει:

α) τη γεωαναφορά των χαρτών, ώστε να αποκτήσουν συντεταγμένες. Η γεωαναφορά, γενικότερα, έχει ως στόχο το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας, η οποία έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής προβολής με τη χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου. Όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας συνδέονται με τις χαρτογραφικές συντεταγμένες. Έτσι, κάθε εικονοστοιχείο δεν χαρακτηρίζεται μόνο από τις συντεταγμένες της εικόνας (γραμμές και στήλες) αλλά και από τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του χάρτη (π.χ. μέτρα σε Μερκατορική Προβολή). Με τη διαδικασία αυτή η δορυφορική εικόνα ή ένας σκαναρισμένος χάρτης αποκτά κλίμακα και ιδιότητες προβολής του χάρτη επιτρέποντας έτσι την εισαγωγή της σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και την ταυτόχρονη χρήση της με άλλα θεματικά πεδία πληροφορίας. Σημειώνουμε ότι η γεωαναφορά δε μπορεί να απαλείψει τα σφάλματα που εισάγονται στην εικόνα από την τοπογραφία και το ανάγλυφο (Καρτάλης Κ. & Φειδάς Χ. , 2006).

¹³ **Sun Elevation** είναι η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του ήλιου και του ορίζοντα της γης. Παίρνει τιμές από 0 έως 90 μοίρες.

¹⁴ **Sun Azimuth** είναι η γωνία της οριζόντιας απόκλισης του ηλίου και μετρείται δεξιόστροφα από το Βορρά. Παίρνει τιμές από -180 έως 180 μοίρες.

β) τη βελτίωση του Ιστογράμματος, η οποία αποσκοπεί στη βελτίωση των αντιθέσεων της εικόνας. Ο τελικός στόχος της βελτίωσης της αντίθεσης της εικόνας είναι να μετασχηματιστεί το αρχικό εύρος διακύμανσης των τιμών DN του γκρι της εικόνας σε κάποιο άλλο εύρος είτε με διάταση του ιστογράμματος είτε με σύμπτυξή του.

- την κύρια επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων που συμπεριλαμβάνει:
 - α) τη δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων (False Colour Composite - FCC). Ο συνδυασμός διαφόρων φασματικών καναλιών οδηγεί στη δημιουργία πολυφασματικών εικόνων με βελτιωμένη ευαισθησία στη φασματική ανάκλαση ή χρωματική διαφοροποίηση μεταξύ επιφανειακών αντικειμένων που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στα επιμέρους φασματικά κανάλια. Η ανθρώπινη αντίληψη για τα χρώματα προέρχεται από το σχετικό ποσό ακτινοβολίας, στο ερυθρό, πράσινο και μπλε τμήμα, που μετρούνται από το αισθητήριο όργανο, το μάτι. Το ερυθρό, το πράσινο και το μπλε μπορούν να προστεθούν και να παράγουν ένα μεγάλο αριθμό χρωμάτων. Ο τρόπος εμφάνισης εικόνων στηριζόμενος στην λογική των κυρίων αυτών χρωμάτων ονομάζεται σύστημα RGB (Red Green Blue). Στο σύστημα αυτό η αύξηση της ευκρίνειας λαμβάνει χώρα για δύο βασικούς λόγους: 1) Η φασματική πληροφόρηση λαμβάνεται από τρεις διαφορετικές φασματικές εικόνες, πράγμα που ουσιαστικά προσθέτει τόσο στην πληροφόρηση όσο και στην καλύτερη χρωματική διαβάθμιση της εικόνας (3 x 256 χρώματα). 2) Επιτρέπει την καλύτερη ανάλυση, αφού το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο στις χρωματικές αλλαγές (σε σχέση με τις αποχρώσεις του γκρι) (Μιγκίρος Γ., 2003).

β) το *fusion* ή *merging*. Σκοπό του είναι ο συνδυασμός ανόμοιων και συμπληρωματικών δεδομένων και η δημιουργία ενός νέου προϊόντος το οποίο θα περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερα από τα χαρακτηριστικά και τις πληροφορίες των επιμέρους εικόνων που συνδυάστηκαν, αναδεικνύοντας έτσι το σύνολο των πλεονεκτημάτων των πρωτογενών δεδομένων και βελτιώνοντας την ποιότητα της πληροφορίας (Μιγκίρος Γ., 2003).

γ) την εφαρμογή φίλτρων. Η εφαρμογή τους σε μία εικόνα έχει ως αποτέλεσμα την έμφαση συγκεκριμένων πληροφοριών, όπως την εύρεση χωρικών δομών (π.χ. γραμμικά και σημειακά αντικείμενα). Η εύρεση αυτή επιτυγχάνεται με την εφαρμογή φίλτρων που αφορούν τη βελτίωση των ακμών (Edge Enhancement) της κάθε εικόνας. Τα φίλτρα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να τονίζουν κάποιες απότομες

αλλαγές που συχνά υπάρχουν μεταξύ δύο όμορων εικονοστοιχείων, στο επίπεδο των DNs. Οι αλλαγές αυτές αναπαριστούν υψηλές χωρικές συχνότητες που καλούνται «ακμές». Μία «ακμή» μπορεί να είναι ένα όριο που χωρίζει δυο διαφορετικά χαρακτηριστικά ή μια γραμμή που διαχωρίζει τα χαρακτηριστικά δύο πλευρών. Η βελτίωση των ακμών έχει σαν συνέπεια την δημιουργία μιας απότομης «οξείας» εικόνας, γιατί η υψηλή συχνότητα πληροφόρησης «ενδυναμώνεται» (strengthen) από ένα υψηλής διέλευσης φίλτρο (high pass filter) (Μιγκίρος Γ.,2003).

4.2. Επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών εικόνων

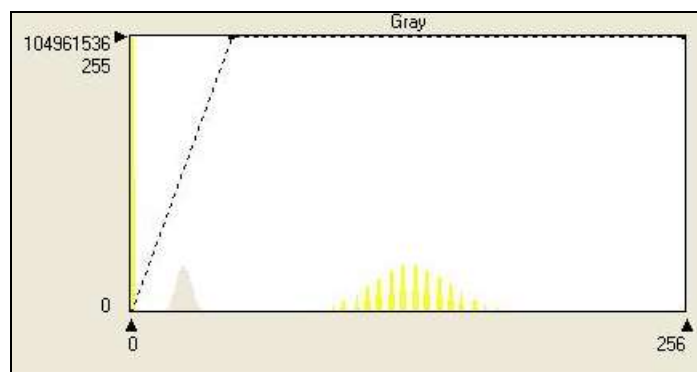
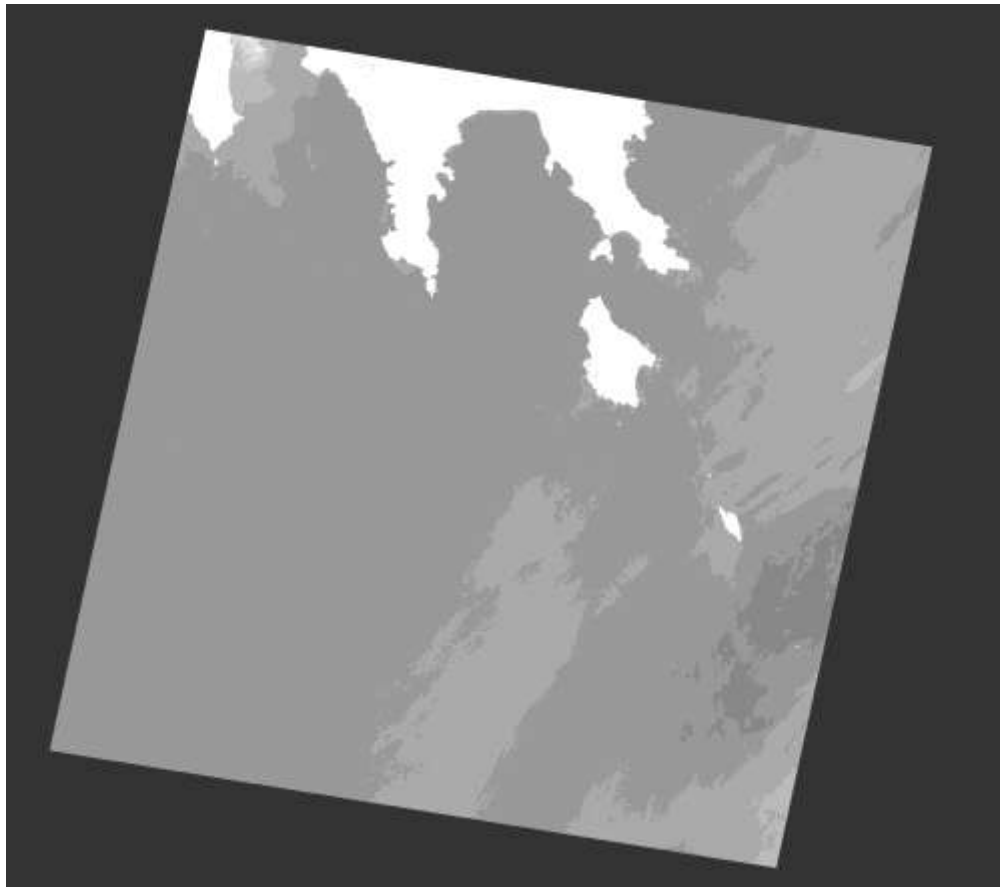
Για την αναγνώριση των ρηξιγενών δομών χρησιμοποιήθηκαν, οι δορυφορικές απεικονίσεις Landsat ETM+ . Οι εικόνες αυτές, όπως προαναφέρθηκε, διαθέτουν ήδη γεωαναφορά στο σύστημα WGS84 με το σφάλμα τους να κυμαίνεται μεταξύ 50μ. και 70μ, όπως έχει αποδειχτεί στη πράξη από άλλους ερευνητές.

Στόχος μας στο στάδιο αυτό είναι μέσω των δορυφορικών απεικονίσεων, να αναδειχθούν και να τονιστούν οι φωτογραμμώσεις, οι οποίες πιθανώς αποτελούν τεκτονικές δομές (ρήγματα, ρηξιγενείς ζώνες, επωθήσεις, εφιππεύσεις κλπ) (Rokos E. & Andronis V. , 2004). Για την επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, γιατί όπως αναφέρει και ο Drury (1987), ο πειραματισμός με πολλές ψηφιακές επεξεργασίες, ώστε να αποκαλυφθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός πληροφοριών και η πρόσβαση σε ποικιλία ερμηνειών αυτών των επεξεργασιών, βοηθάει στην σταχυολόγηση των περισσοτέρων δυνατών στοιχείων. Για το λόγο αυτό θα παρουσιάσουμε δύο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να επεξεργαστούμε τις εικόνες αυτές.

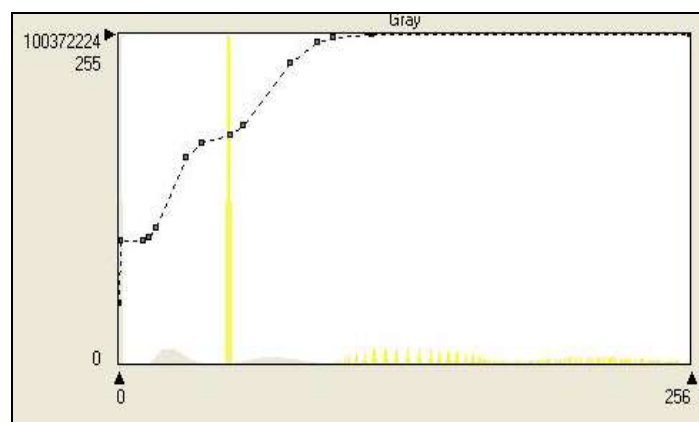
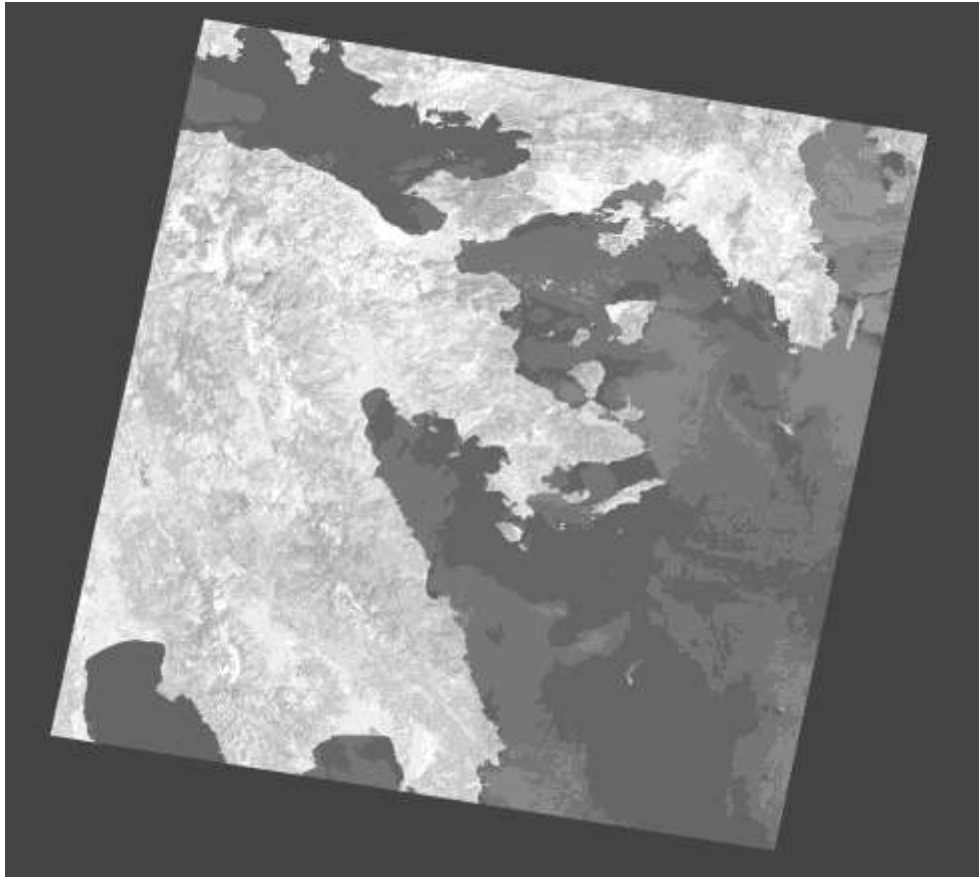
4.2.1 Α΄ Τρόπος

Μία δορυφορική εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη είναι απλά η οπτικοποίηση των αριθμών που δημιουργεί το όργανο καταγραφής. Οι αριθμοί αυτοί λέγονται ψηφιακές τιμές DN και αποθηκεύονται σε πίνακες. Ο εντοπισμός ενός αριθμού στον πίνακα αντιστοιχεί σε μία ποσότητα ανακλώμενης ακτινοβολίας από κάποιο σημείο της γήινης επιφάνειας. Επομένως, όταν μια εικόνα από μία μονοφασματική εικόνα προβάλλεται στη οθόνη οι ψηφιακές τιμές συνδέονται με τη κλίμακα του γκρι με την χρήση ενός πίνακα αντιστοιχιών (lookup table, LUT) (Παρχαρίδης Ι., 2007). Επομένως, πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε επεξεργασία στις δορυφορικές εικόνες ενσωματώσαμε σε κάθε εικόνα το αντίστοιχο LUT της. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε την «παραμονή» του LUT στην εικόνα έτσι ώστε να γίνει επεξεργασία και στην εικόνα και στο LUT, γιατί αλλιώς η επεξεργασία πραγματοποιείται μόνο στην εικόνα και η τελική εικόνα φαίνεται πιο ξεθωριασμένη.

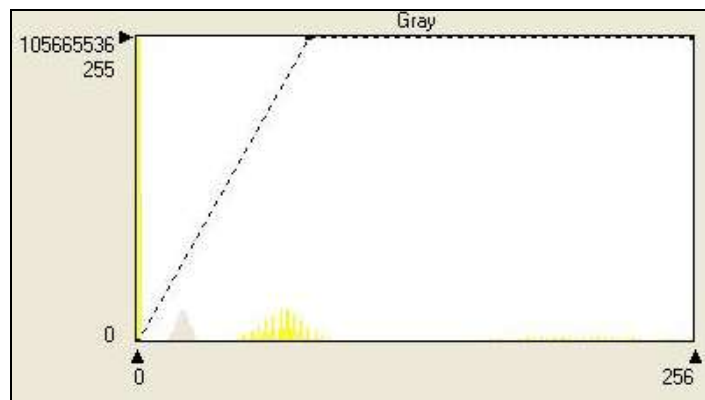
Απαραίτητο βήμα προεπεξεργασίας είναι, επίσης, η βελτίωση του Ιστογράμματος της εικόνας p183r035 γιατί όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.10, η στεριά παρουσιάζεται αρκετά πιο φωτεινή σε σχέση με τις εικόνες των άλλων δύο ζωνών (βλ. Εικόνα 4.11, 4.12), χάνοντας έτσι σημαντικές πληροφορίες για την περιοχή αυτή.



Εικόνα 4.10: Η δορυφορική εικόνα p183r035 band 8 και το ιστόγραμμα της

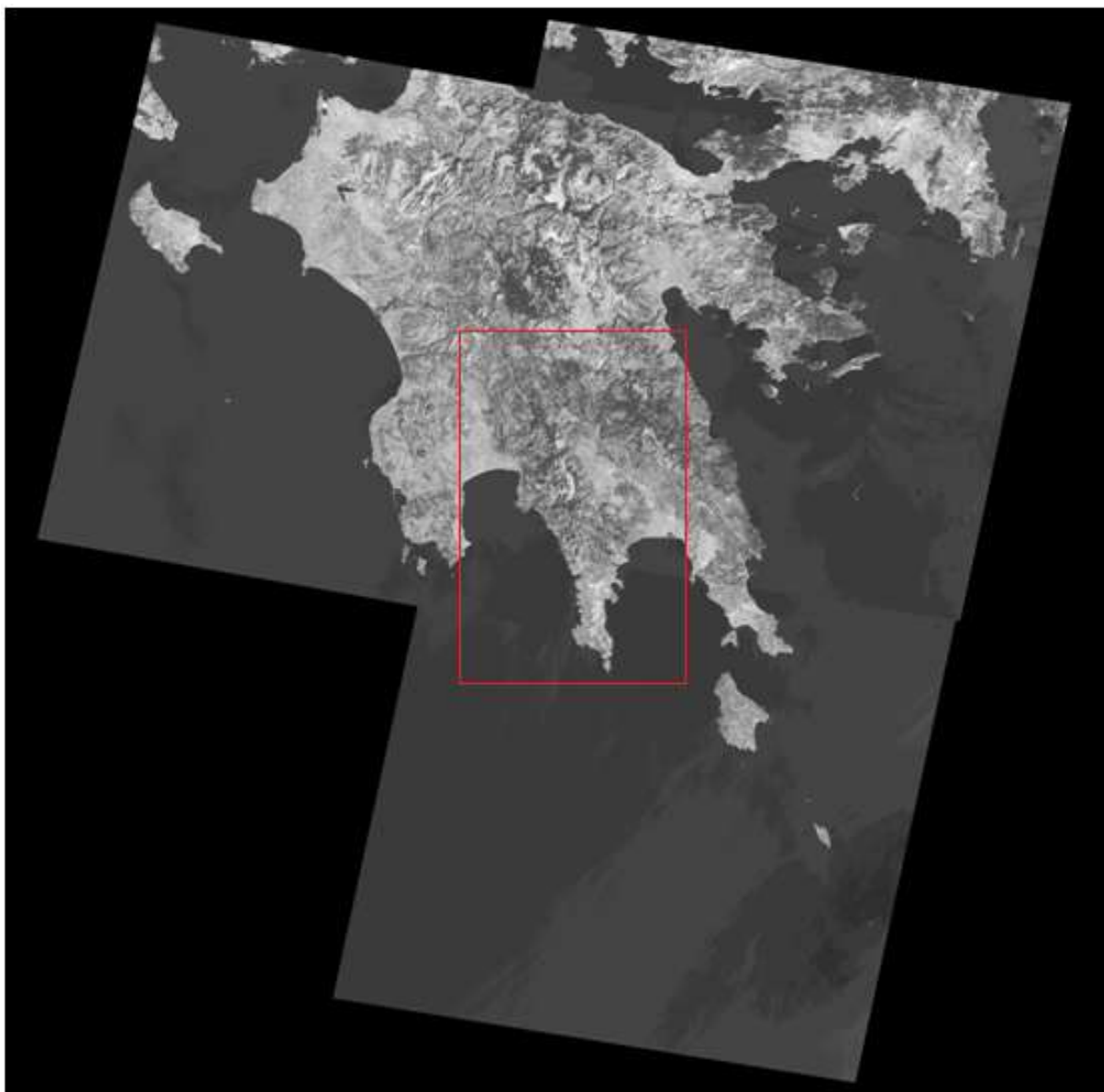


Εικόνα 4.11: Η δορυφορική εικόνα p183r034 band 8 και το ιστόγραμμα της



Εικόνα 4.12: Η δορυφορική εικόνα p184r034 band 8 και το ιστόγραμμα της

Η βελτίωση του ιστογράμματος μας βοηθάει, επιπλέον, στην ένωση των εικόνων με τη μέθοδο Mosaic του Erdas[®], ώστε η νέα εικόνα, που περιέχει την περιοχή μελέτης μας, να έχει ομοιόμορφη φωτεινότητα. (βλ. Εικόνα 4.13)



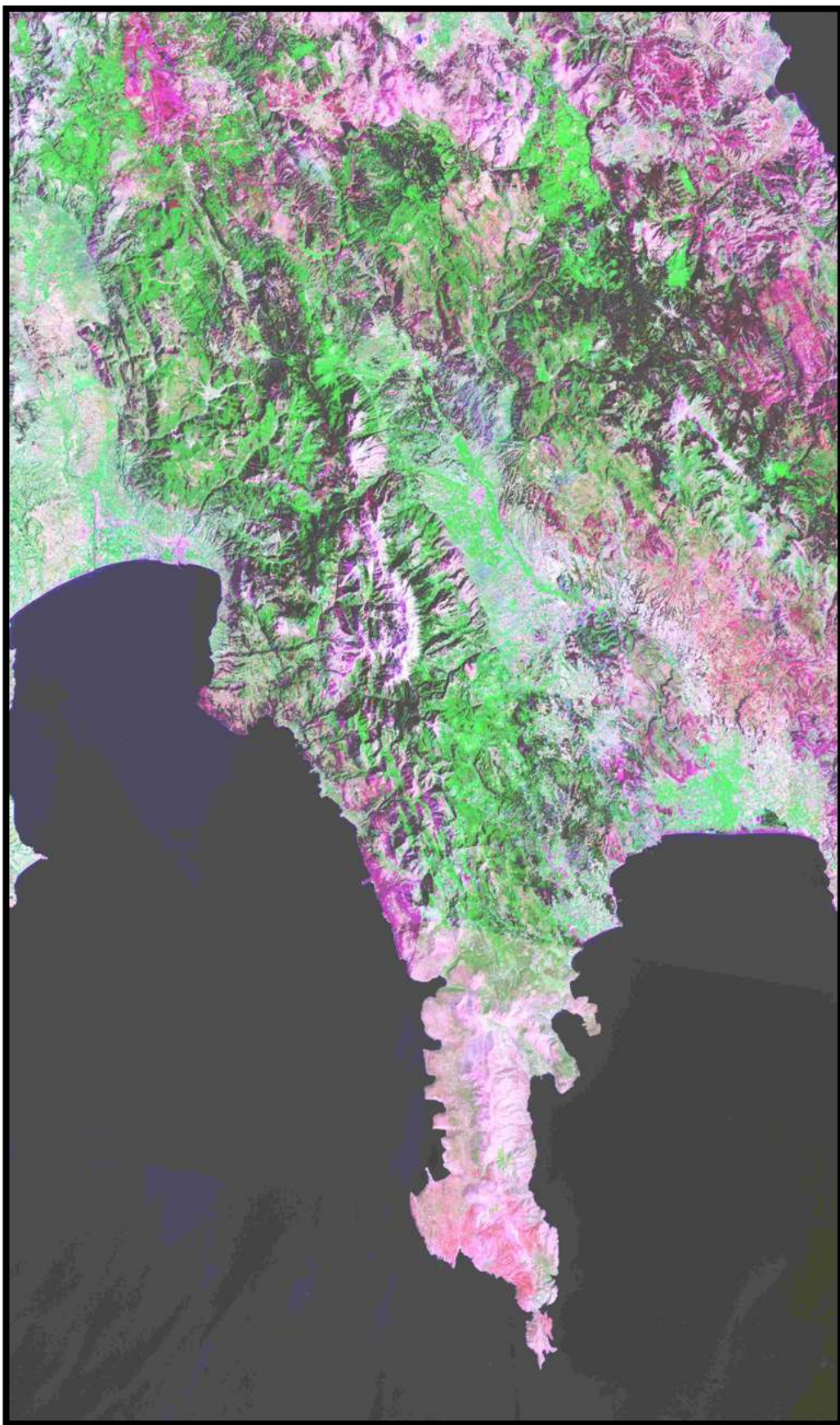
Εικόνα 4.13: Παγχρωματική εικόνα Mosaic (επισημαίνεται η περιοχή μελέτης)

Επόμενο βήμα είναι η κοπή της περιοχής μελέτης μας σε όλα τα φασματικά κανάλια. Έχοντας έτοιμες της τελικές μας εικόνες, μπορούμε να αρχίζουμε να εφαρμόζουμε διάφορες μεθόδους, οι οποίες θα αναδείξουν τα γραμμικά στοιχεία της περιοχής.

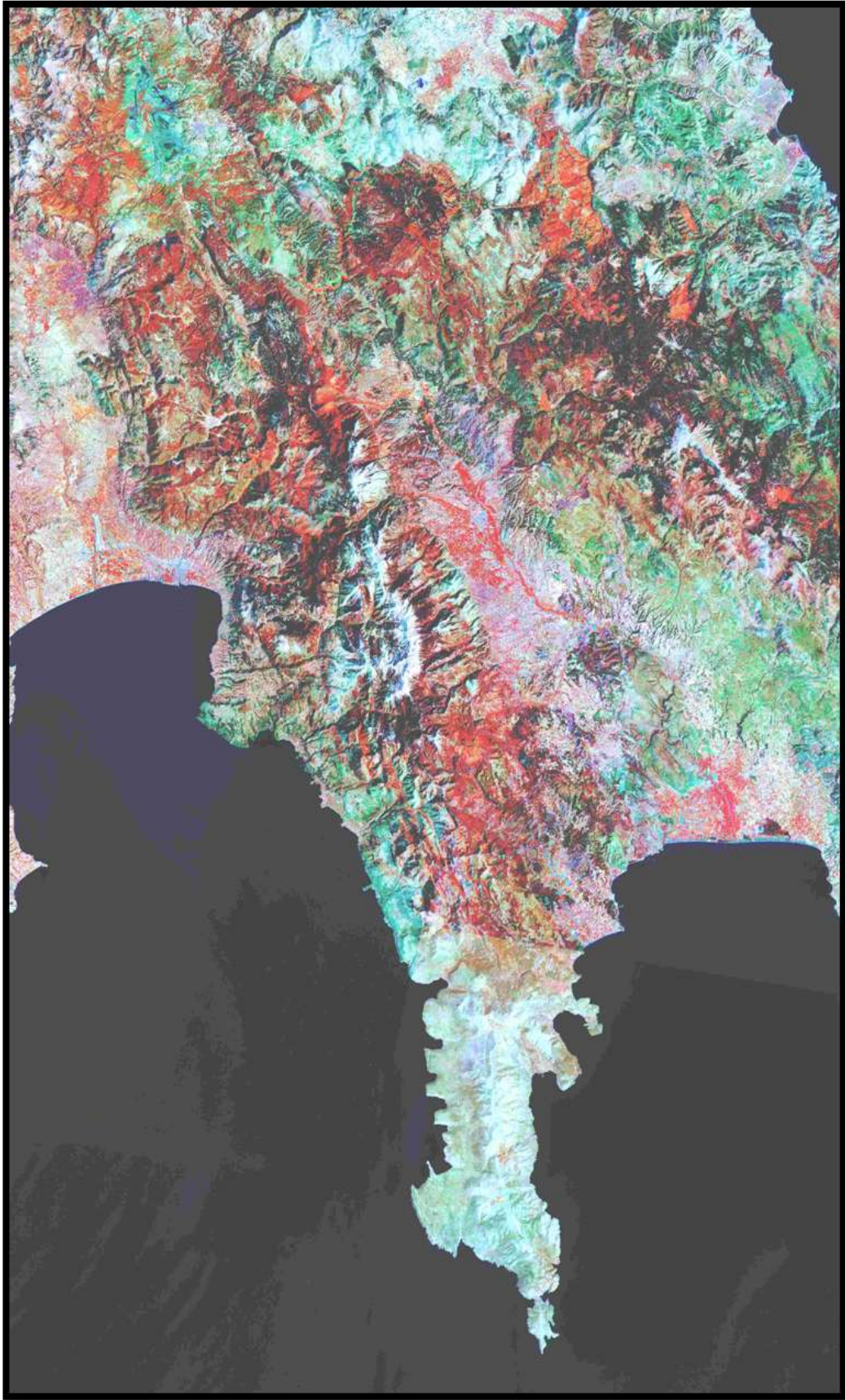
Πρώτη μέθοδος είναι η δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων (False Colour Composite - FCC), η οποία όπως αναφέραμε στην ενότητα 4.1.5 οδηγεί στη δημιουργία πολυφασματικών εικόνων με βελτιωμένη ευαισθησία στη φασματική ανάκλαση ή χρωματική διαφοροποίηση μεταξύ επιφανειακών αντικειμένων που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στα επιμέρους φασματικά κανάλια.

Η επιλογή των φασματικών καναλιών έγινε με βάση το σκοπό για τον οποίο απαιτούνται οι πληροφορίες αυτές. Συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη, επιθυμούμε να ενισχύσουμε το υδρογραφικό δίκτυο και γενικότερα τα γραμμικά στοιχεία της εικόνας. Μερικοί από τους συνδυασμούς που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

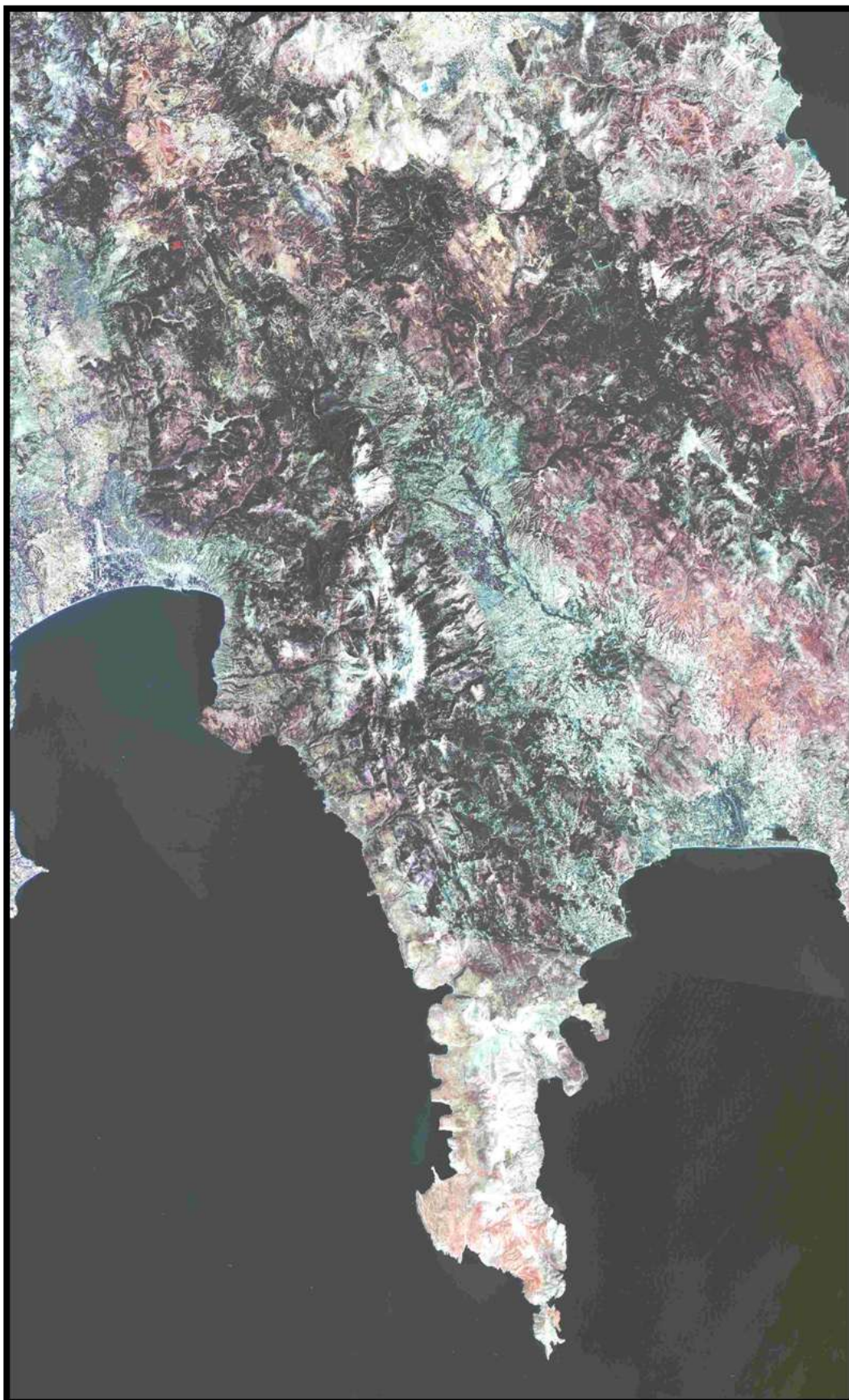
- 7,4,2 RGB (βλ. Εικόνα 4.14)
- 7,4,1 RGB (βλ. Εικόνα 4.18)
- 4,5,3 RGB (βλ. Εικόνα 4.15)
- 7,3,1 RGB (βλ. Εικόνα 4.19)
- 7,3,2 RGB (βλ. Εικόνα 4.16)
- 4,5,7 RGB (βλ. Εικόνα 4.20)
- 4,3,2 RGB (βλ. Εικόνα 4.17)



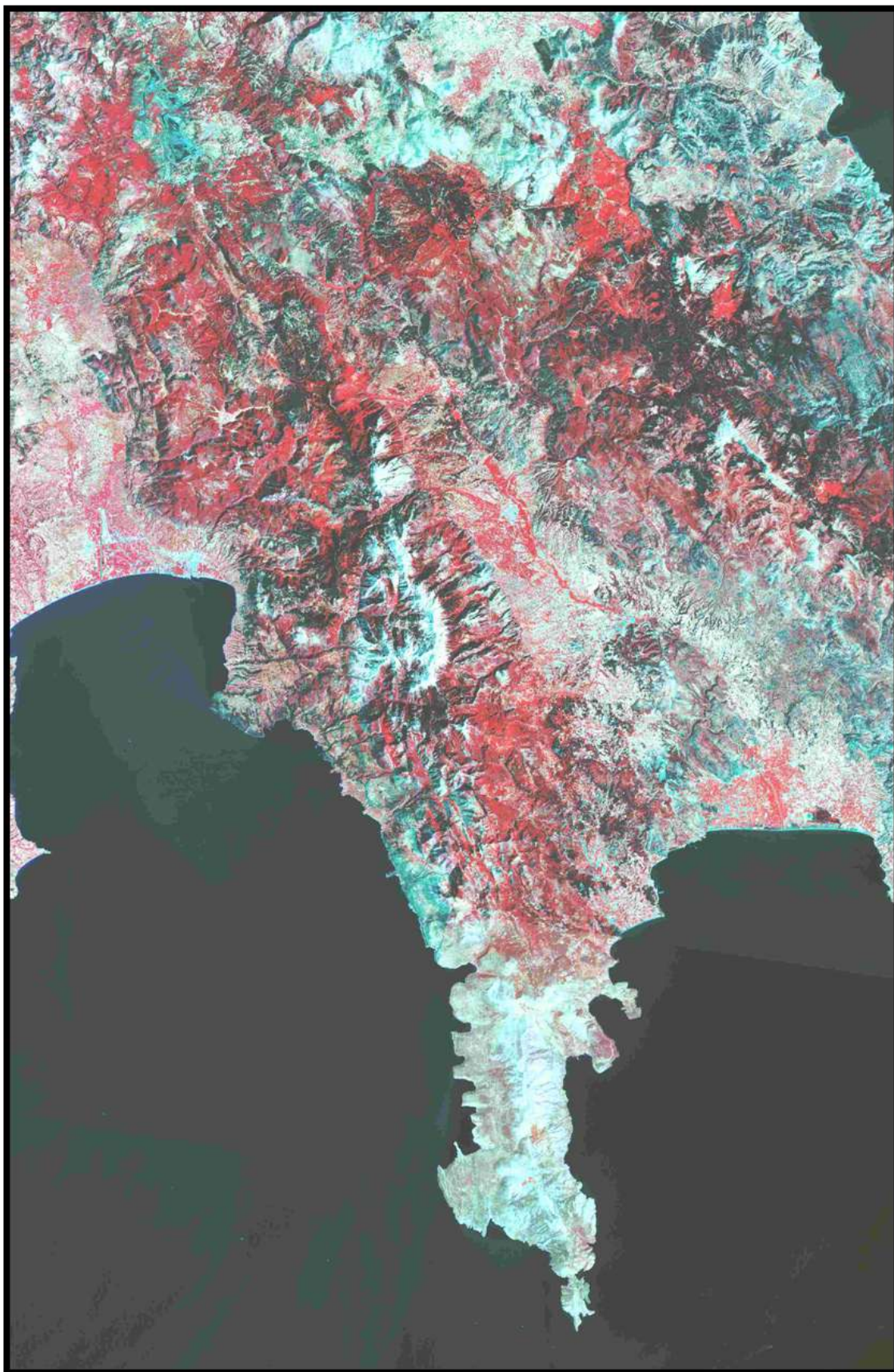
Εικόνα 4.14: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνες 7,4,2 RGB



Εικόνα 4.15: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 RGB



Εικόνα 4.16: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,2 RGB



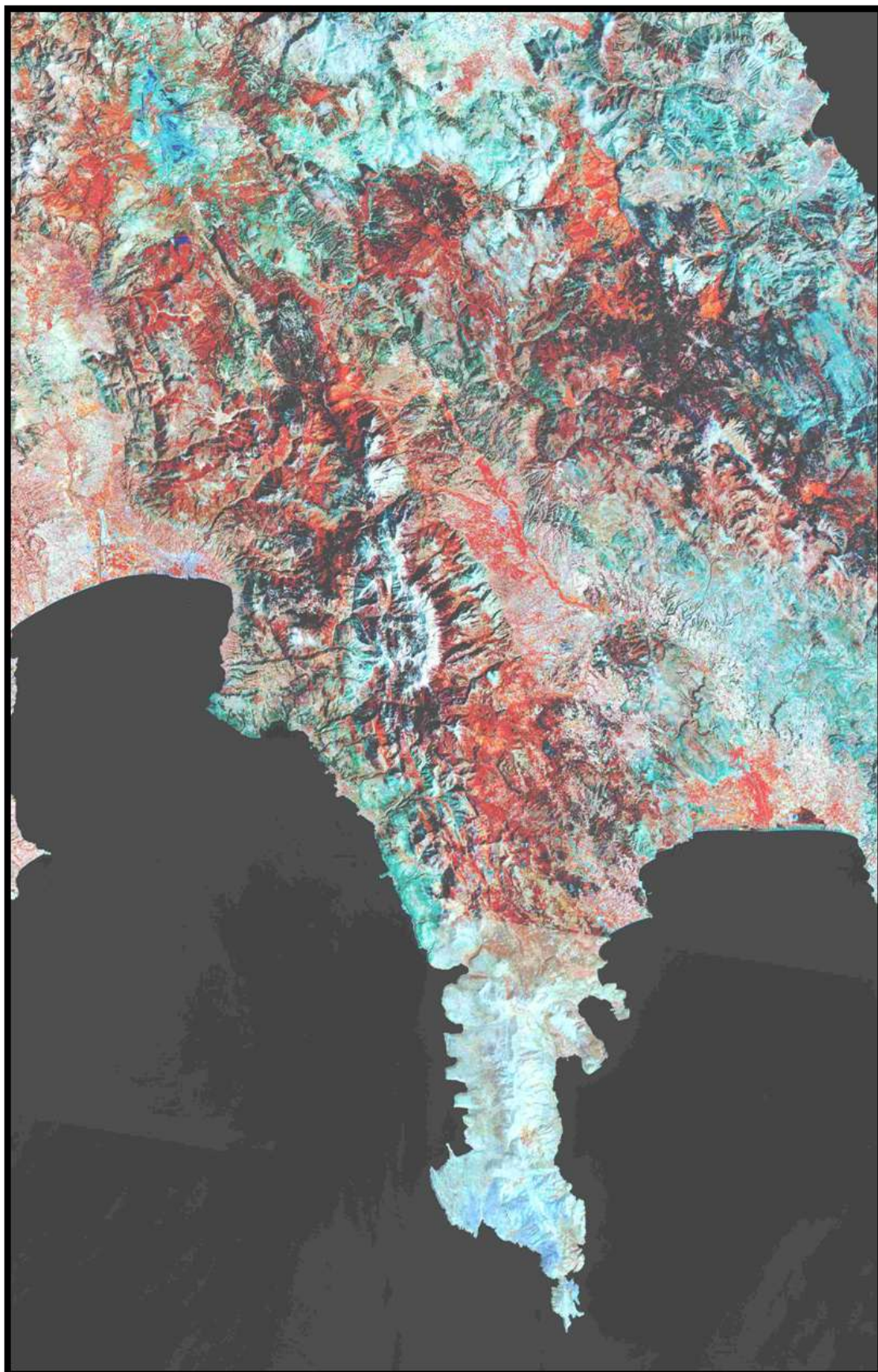
Εικόνα 4.17: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,3,2 RGB



Εικόνα 4.18: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,4,1 RGB



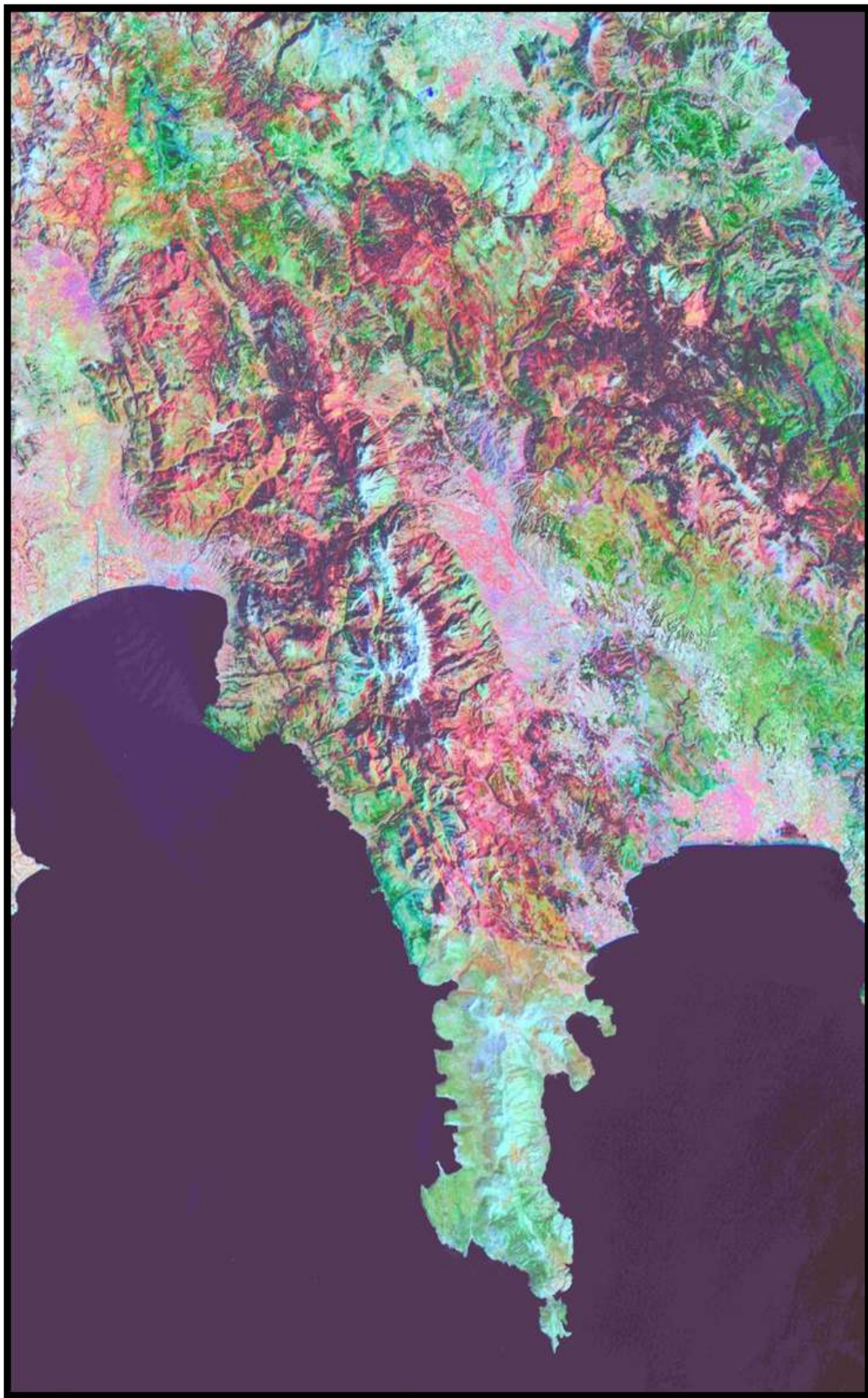
Εικόνα 4.19: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,1 RGB



Εικόνα 4.20 : Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,7 RGB

Ωστόσο, από τις παραπάνω εικόνες κρίθηκαν πιο κατάλληλοι οι συνδυασμοί 7,3,1 RGB (που ενισχύει το υδρογραφικό δίκτυο) και 4,5,3 RGB.

Οι σύνθετες αυτές εικόνες μπορούν να μας δώσουν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα όταν συγχωνευτούν με την παγχρωματική εικόνα (μέθοδος fusion ή merging), η οποία έχει χωρική διακριτική ικανότητα 15μ σε αντίθεση με τα 30μ που έχουν. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες 4.21 και 4.22 είναι αισθητή η διαφορά μεταξύ των τελικών εικόνων με fusion και των ψευδέγχρωμων (βλ.4.15, 4.19).



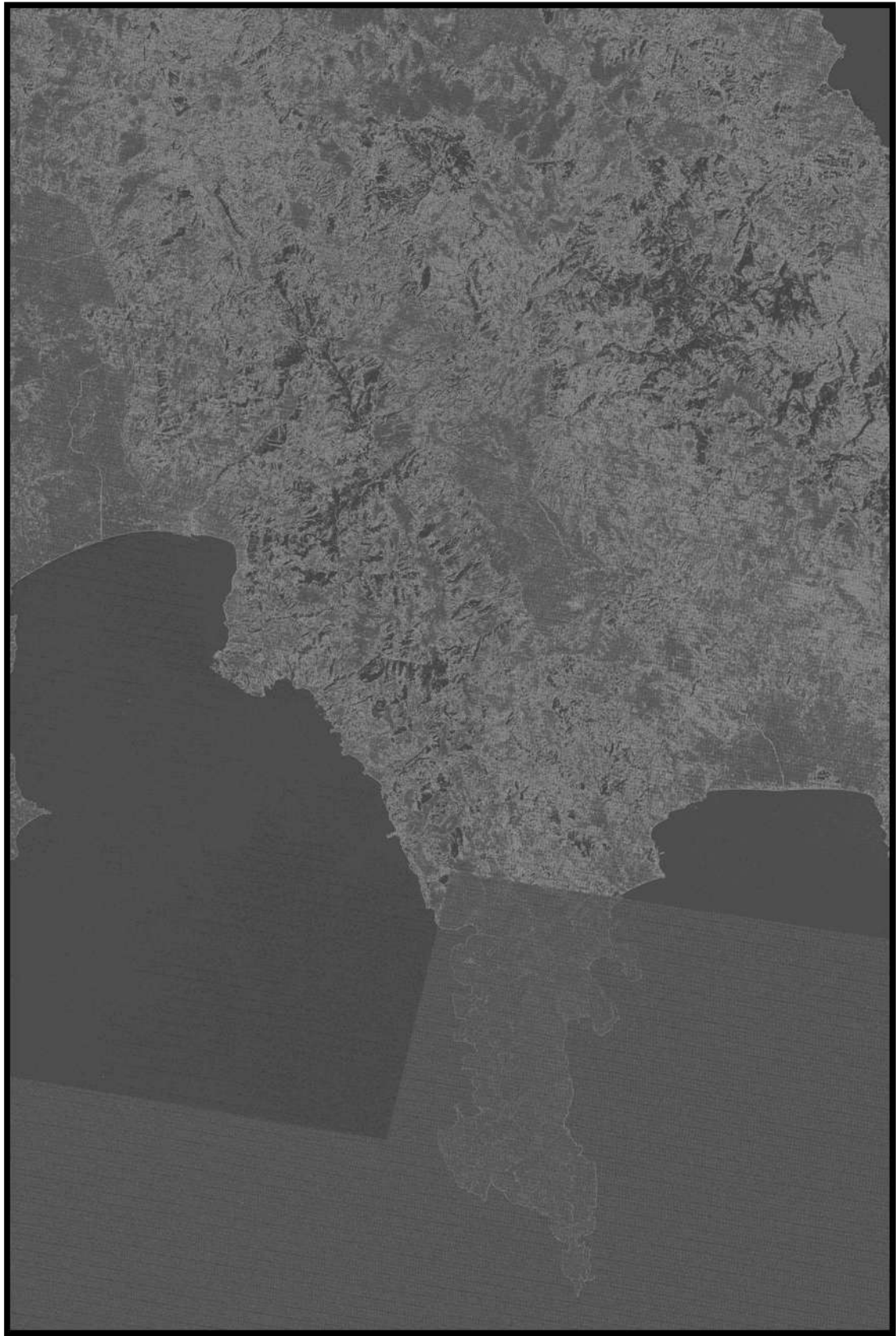
Εικόνα 4.21: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 RGB fusion



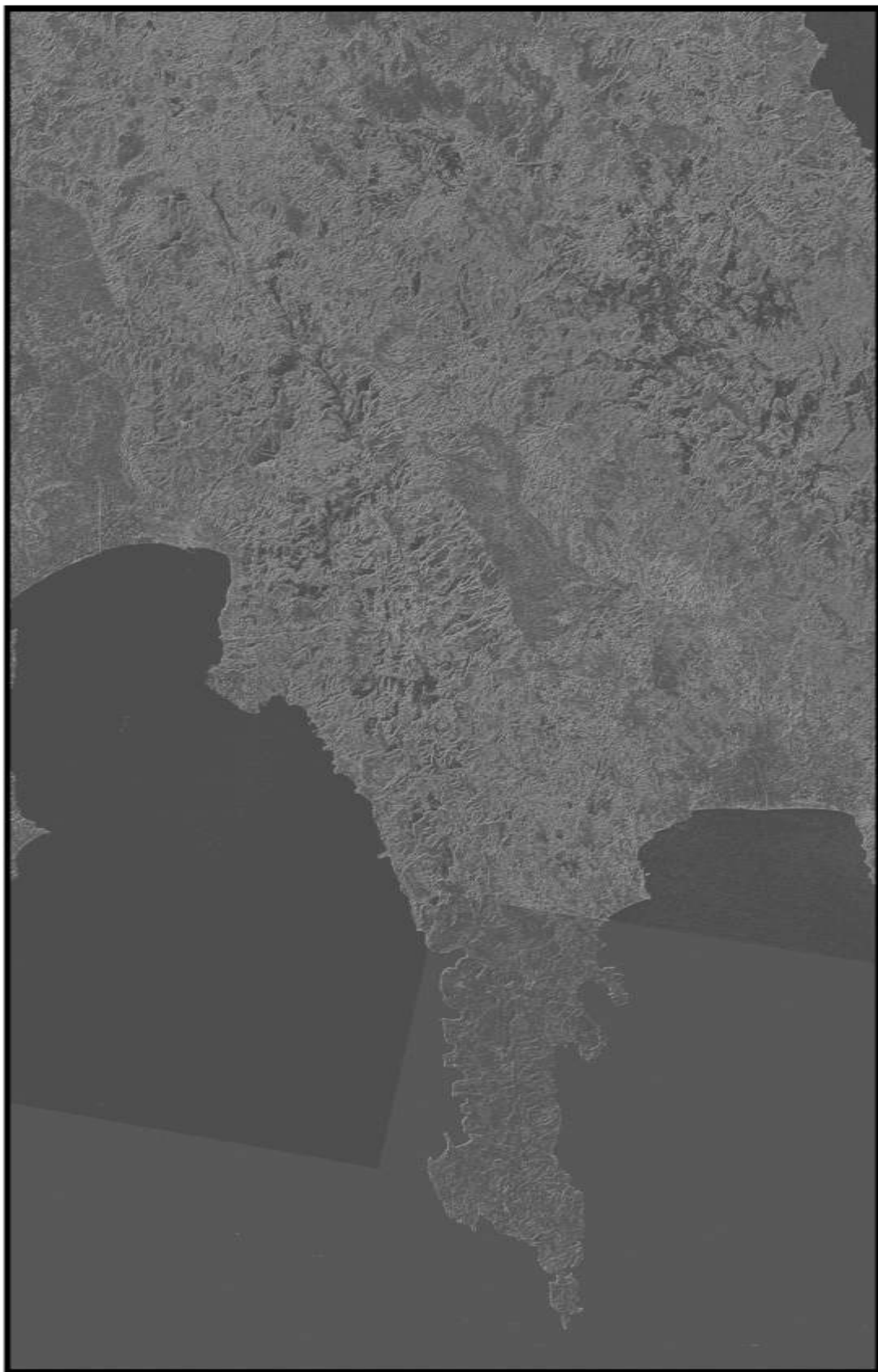
Εικόνα 4.22: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,3,1 RGB fusion

Η τελευταία μέθοδος που θα πραγματοποιήσουμε είναι η εφαρμογή φίλτρων, η οποία όπως προαναφέραμε στην ενότητα 3.2 έχει ως αποτέλεσμα την έμφαση συγκεκριμένων πληροφοριών, όπως την εύρεση χωρικών δομών (π.χ. γραμμικά και σημειακά αντικείμενα). Πριν φτάσουμε στο κατάλληλο φίλτρο για την περίπτωση μελέτης μας, πειραματιστήκαμε εφαρμόζοντας διάφορα φίλτρα που εντείνουν τις ακμές στις εικόνες με fusion και στην παγχρωματική εικόνα. Τα φίλτρα αυτά είναι τα εξής:

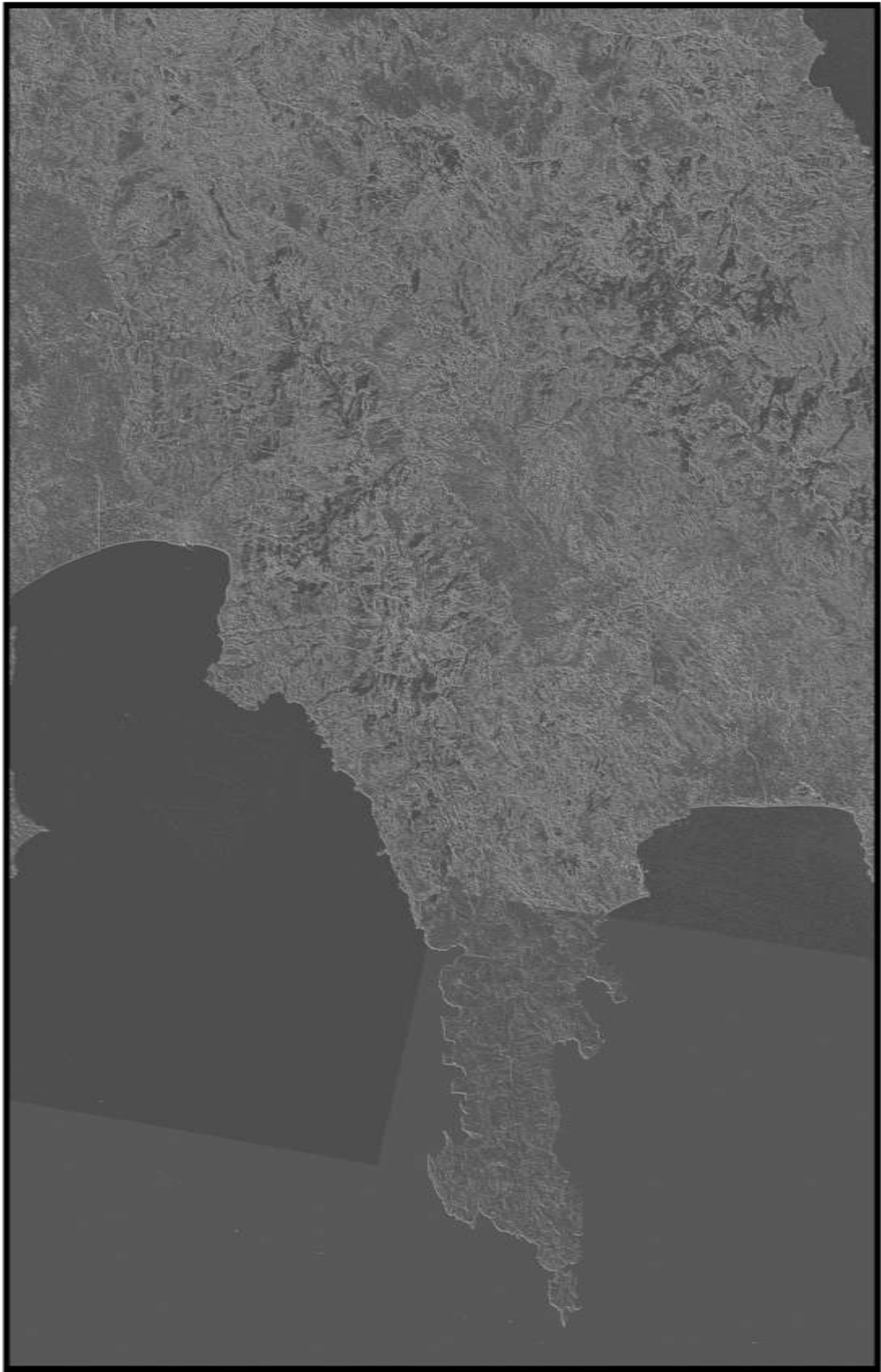
- 3x3 Edge Detect (βλ. Εικόνα 4.23)
- 3x3 Right Diagonal Edge (βλ. Εικόνα 4.24)
- 3x3 Left Diagonal Edge (βλ. Εικόνα 4.25)
- 3x3 Edge Enhance (βλ. Εικόνα 4.26, 4.27, 4.28)
- 5x5 Edge Enhance (βλ. Εικόνα 4.29)



Εικόνα 4.23: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Detect στην παγχρωματική εικόνα



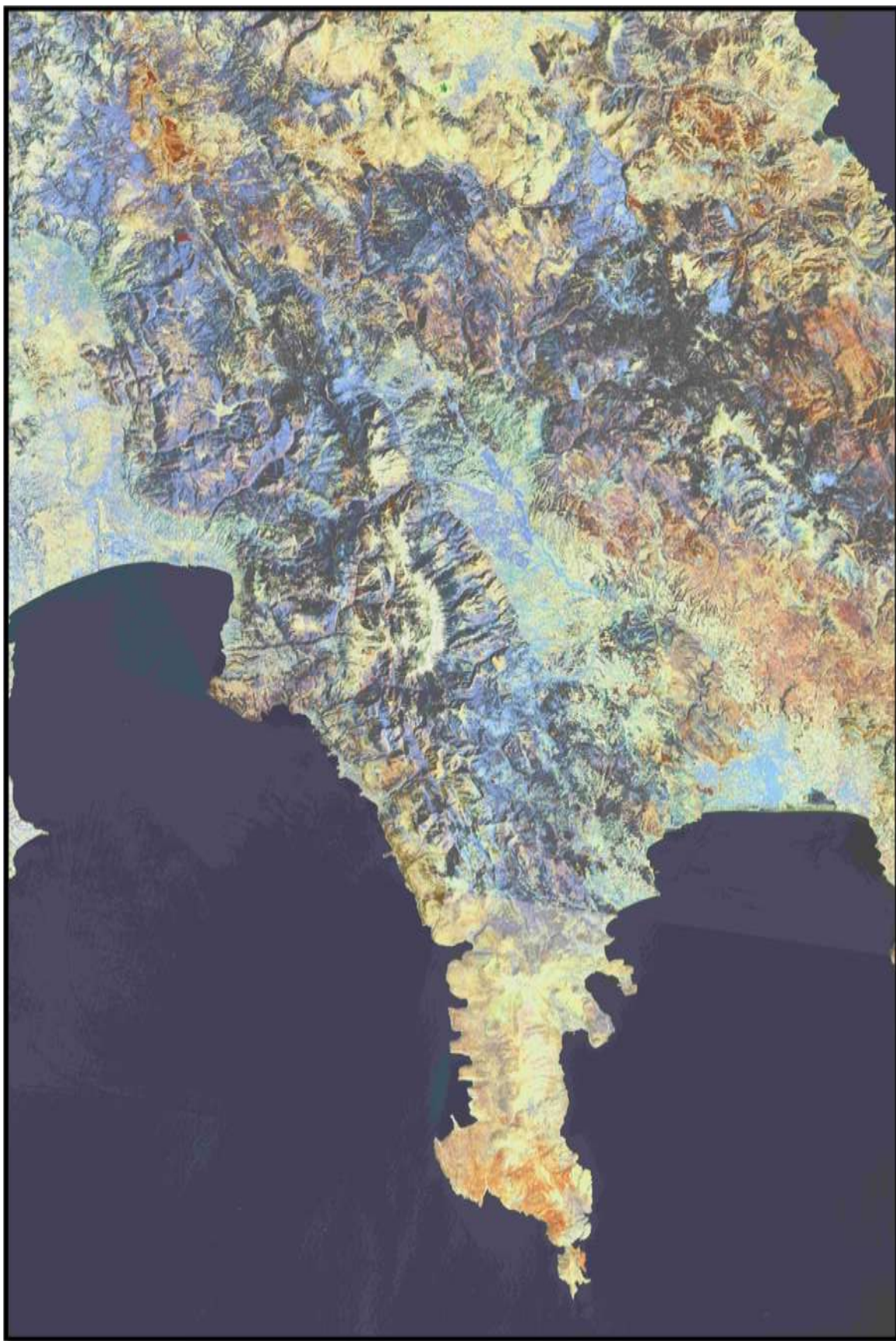
Εικόνα 4.24: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Right Diagonal Edge στην παγχρωματική εικόνα



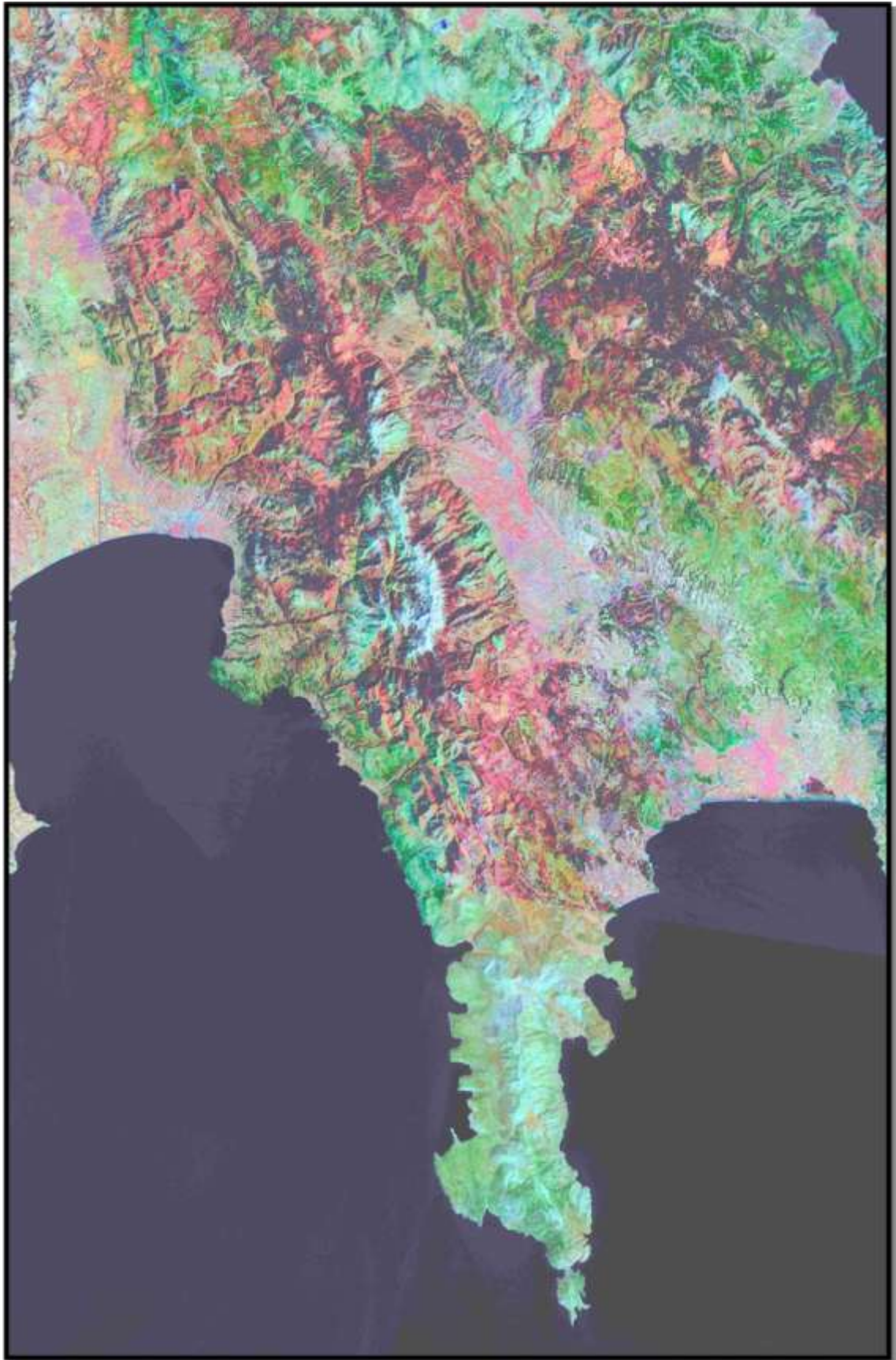
Εικόνα 4.25: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Left Diagonal Edge στην παγχρωματική εικόνα



Εικόνα 4.26: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην παγχρωματική εικόνα



Εικόνα 4.27: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance 7,3,1 RGB fusion



Εικόνα 4.28: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance 4,5,3 RGB fusion



Εικόνα 4.29: Εφαρμογή φίλτρου 5x5 Edge Enhance στην παγχρωματική εικόνα

Παρατηρώντας τις εικόνες μετά την εφαρμογή των φίλτρων , παρατηρούμε ότι το φίλτρο 3x3 Edge Enhance μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Εντούτοις, έχοντας σαν στόχο την ακόμη πιο έντονη παρουσίαση των ακμών δοκιμάσαμε να εφαρμόσουμε το φίλτρο 5x5 Edge Enhance στην παγχρωματική εικόνα, το οποίο όμως ,όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.29, δεν παρουσιάζει σημαντικές βελτιώσεις στις εικόνες σε σχέση με την αντίστοιχες εικόνες με 3x3 Edge Enhance (βλ. Εικόνες 4.26).

Επομένως, καταλήγουμε ότι οι εικόνες που μπορούν να ερμηνευτούν και μετέπειτα να συσχετιστούν με τα δεδομένα από τους γεωλογικούς χάρτες είναι οι 4,5,3 *fusion_ 3x3 Edge Enhance* και 7,3,1 *fusion_ 3x3 Edge Enhance*.

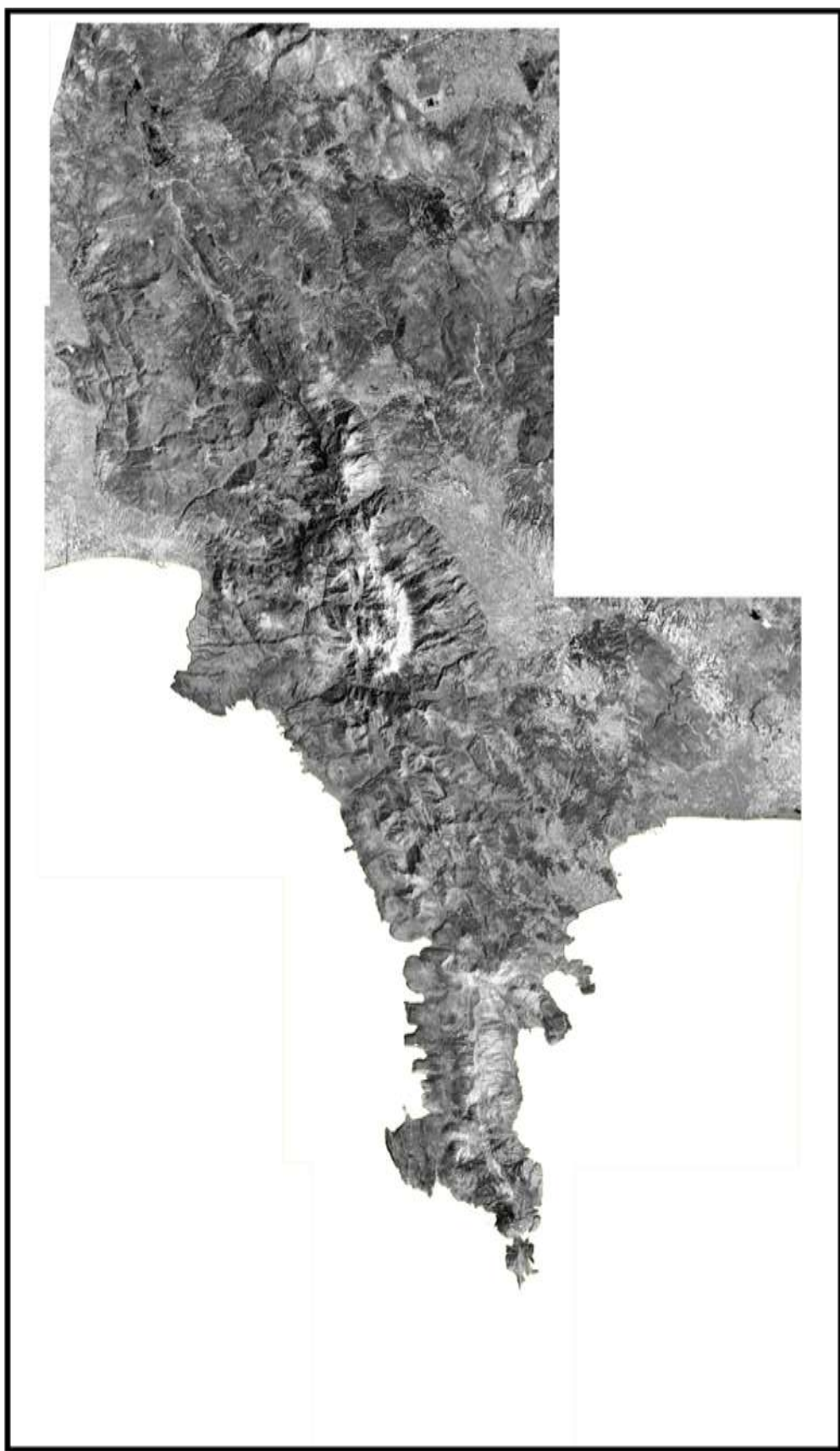
Τέλος, πριν εισάγουμε τις εικόνες μας στο ΓΣΠ Geomedia Professional[®], απομένει η αλλαγή του προβολικού του συστήματος από UTM WGS84 σε ΕΓΣΑ 87, ώστε να βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων με τα δεδομένα που θα δημιουργήσουμε από τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες.

4.2.2 Β' Τρόπος

Ο δεύτερος τρόπος επεξεργασίας βασίζεται στη μεθοδολογία της κ. Στεφούλης Μάρθας, Δρ. γεωλόγο του ΙΓΜΕ. Η βασική διαφορά των δύο μεθοδολογιών, όπως θα δούμε και παρακάτω, είναι κυρίως στην προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Σημειώνουμε ότι στη μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό TNT mips / Pro[®] 2009.

Πιο αναλυτικά, στην αρχή εισάγουμε τις τρεις εικόνες από ένα δορυφορικό κανάλι στο λογισμικό και στη συνέχεια με βάση τα Image footprints των τοπογραφικών χαρτών¹⁵ ορίζουμε και κόβουμε την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε όλα τα φασματικά κανάλια (εκτός του θερμικού καναλιού 6), στα οποία θα εφαρμοστούν τεχνικές Τηλεπισκόπησης. Δεύτερο και βασικό βήμα είναι ο διαχωρισμός της θάλασσας από τη ξηρά ώστε οι τιμές του ιστογράμματος της εικόνας να μην επηρεάζονται από τις τιμές της θάλασσας, την οποία στη παρούσα μελέτη δε θα επεξεργαστούμε. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε την «ενίσχυση» της ξηράς και τη καλύτερη βελτίωση του Ιστογράμματος των εικόνων δημιουργώντας ένα πιο ομοιόμορφο μωσαϊκό (mosaic) της περιοχής μελέτης (βλ. Εικόνα 4.30). Αφορμή του βήματος αυτού είναι η εικόνα p183r035, η οποία όπως είδαμε και παραπάνω είναι αρκετά πιο φωτεινή από τις άλλες δύο, γιατί οι τιμές του ιστογράμματος της επηρεάζονται από τις τιμές της θάλασσας, που επικρατεί.

¹⁵ Τα Image footprint ορίζεται ως το περίγραμμα κάθε χάρτη, στη προκειμένη περίπτωση τοπογραφικού χάρτη.



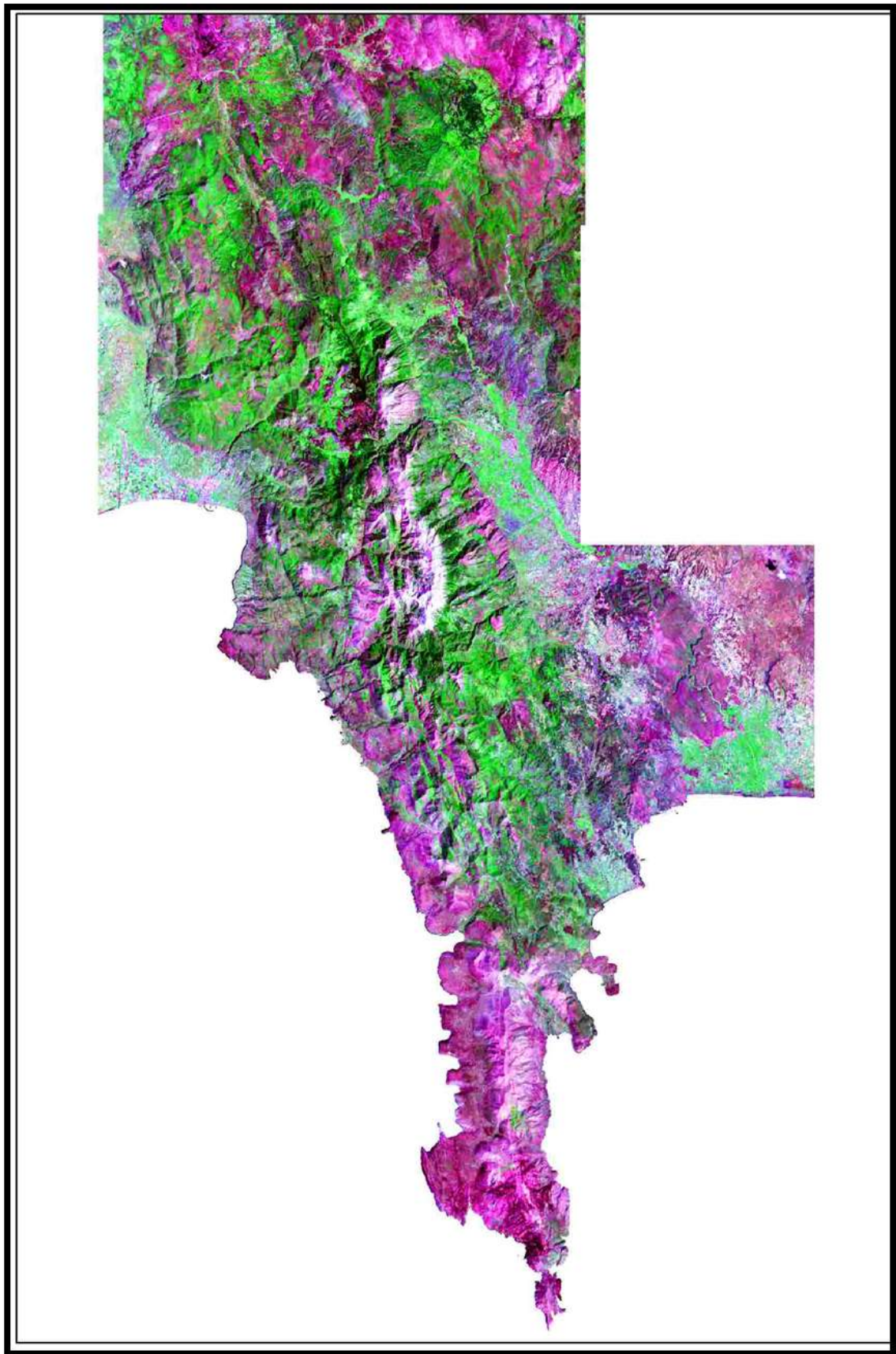
Εικόνα 4.30: Περιοχή μελέτης, παγχρωματική εικόνα

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε τις ίδιες τεχνικές με το 1^ο τρόπο, δηλαδή Σύνθετες Ψευδέγχρωμες Εικόνες, στις οποίες προσθέσαμε και τη παγχρωματική εικόνα (μέθοδος fusion), και Γραμμικά Φίλτρα. Οι ψευδέγχρωμες εικόνες που δημιουργήσαμε είναι η 4,5,3 fusion (βλ. Εικόνα 4.31) και 7,4,2 fusion (βλ. Εικόνα 4.32)¹⁶ ενώ το φίλτρο που εφαρμόστηκε είναι το 3x3 Edge Enhance (βλ. Εικόνα 4.33, 4.34), το οποίο κρίθηκε ιδανικό και στο 1^ο τρόπο για τη μελέτη μας.

¹⁶ Η βλάστηση στη 4,5,3 fusion RGB απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα ενώ στη 7,4,2 fusion RGB με πράσινο.



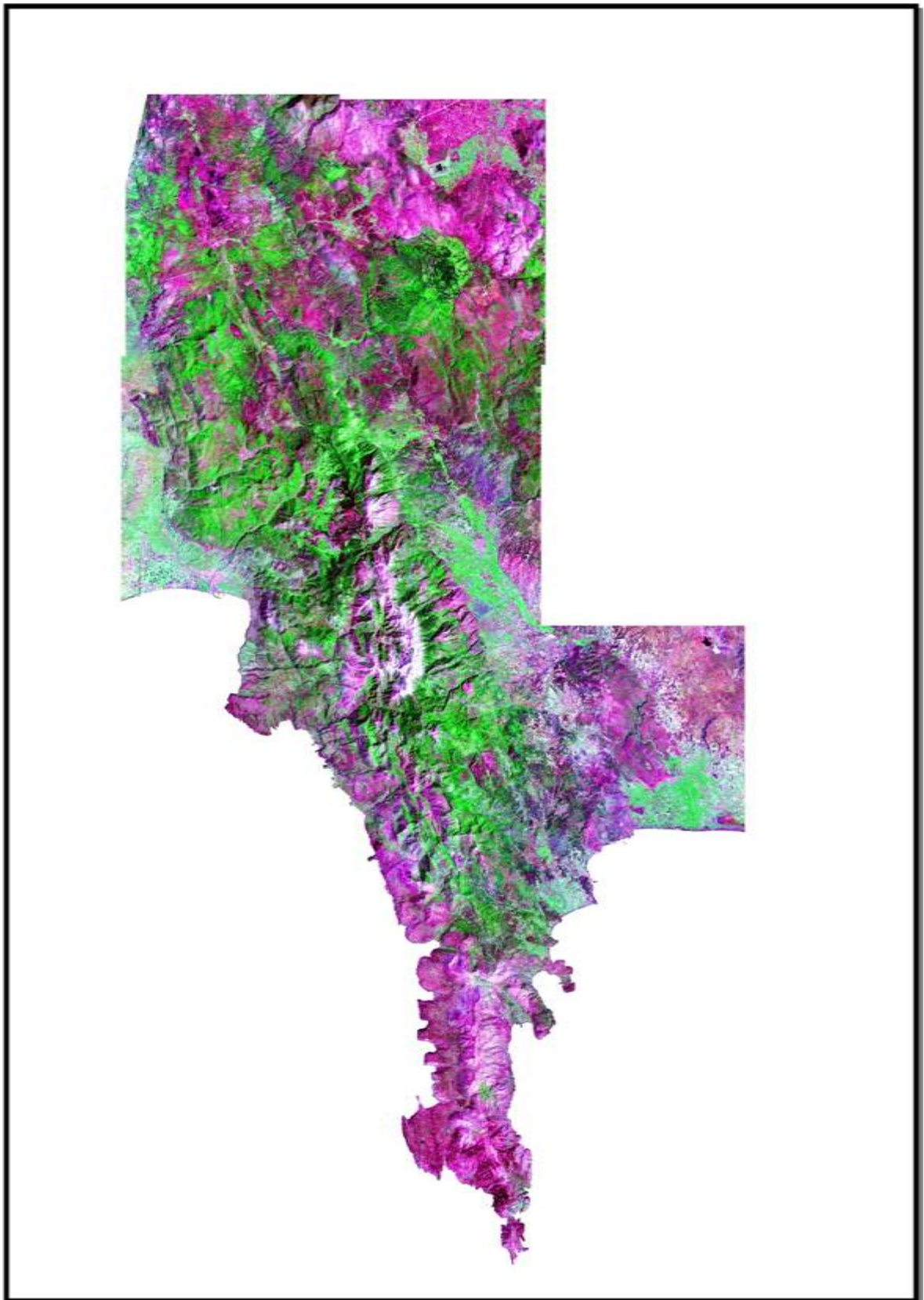
Εικόνα 4.31: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 4,5,3 fusion RGB



Εικόνα 4.32: Σύνθετη Ψευδέγχρωμη Εικόνα 7,4,2 fusion RGB



Εικόνα 4.33: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην εικόνα 4,5,3 fusion



Εικόνα 4.34: Εφαρμογή φίλτρου 3x3 Edge Enhance στην εικόνα 7,4,2 fusion

Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων ,όπως και στη 1^η μεθοδολογία, τελειώνει με την αλλαγή του προβολικού συστήματος από UTM WGS84 σε ΕΓΣΑ 87 ώστε να τις εισάγουμε στο Geomedia Professional[®] για την ερμηνεία τους.

4.2.3 Σύγκριση Μεθοδολογιών

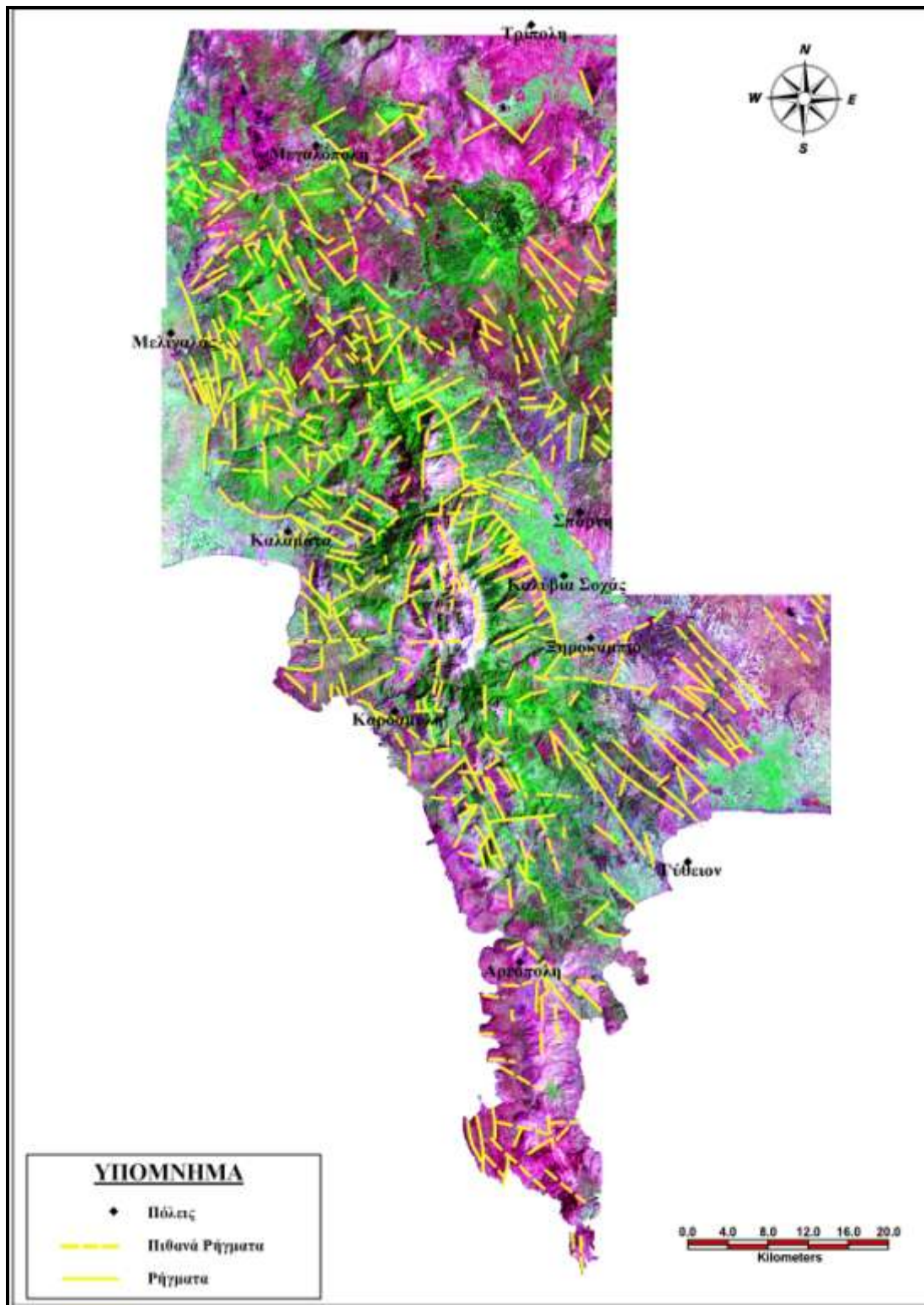
Παρατηρώντας τους τελικούς χάρτες από κάθε μεθοδολογία καταλήγουμε ότι καλύτερα αποτελέσματα μας δίνει ο 2^{ος} τρόπος. Η αποκοπή της ξηράς από τη θάλασσα είναι η βασική αιτία της διαφοράς των δύο αυτών αποτελεσμάτων και κυρίως για την εικόνα p183r035, στην οποία όπως προαναφέραμε, η θάλασσα υπερτερεί της ξηράς, με αποτέλεσμα οι τιμές του ιστογράμματός της να επηρεάζονται αρκετά από τη θάλασσα και να χάνονται έτσι πληροφορίες για τη ξηρά. Επίσης, όπως είδαμε και στο 1^ο τρόπο η βελτίωση του ιστογράμματος σε ολόκληρη την εικόνα δεν μπορεί να διορθώσει το πρόβλημα αυτό παρά μόνο να το ελαττώσει, προκαλώντας έλλειψη πληροφοριών για ένα τμήμα της περιοχής μελέτης μας και μια μη ομοιόμορφη mosaic εικόνα.

Επομένως, για την ανίχνευση ρηγμάτων στη περιοχή αυτή, θα χρησιμοποιήσουμε τους τελικούς χάρτες από το 2^ο τρόπο, στους οποίους τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά είναι πιο έντονα λόγω της ενίσχυσης των τιμών του ιστογράμματος της ξηράς. Ενώ, ο 1^{ος} τρόπος μπορούμε να πούμε ότι ενδείκνυται κυρίως όταν θέλουμε να εξετάσουμε και το υδάτινο και το χερσαίο τμήμα μιας εικόνας.

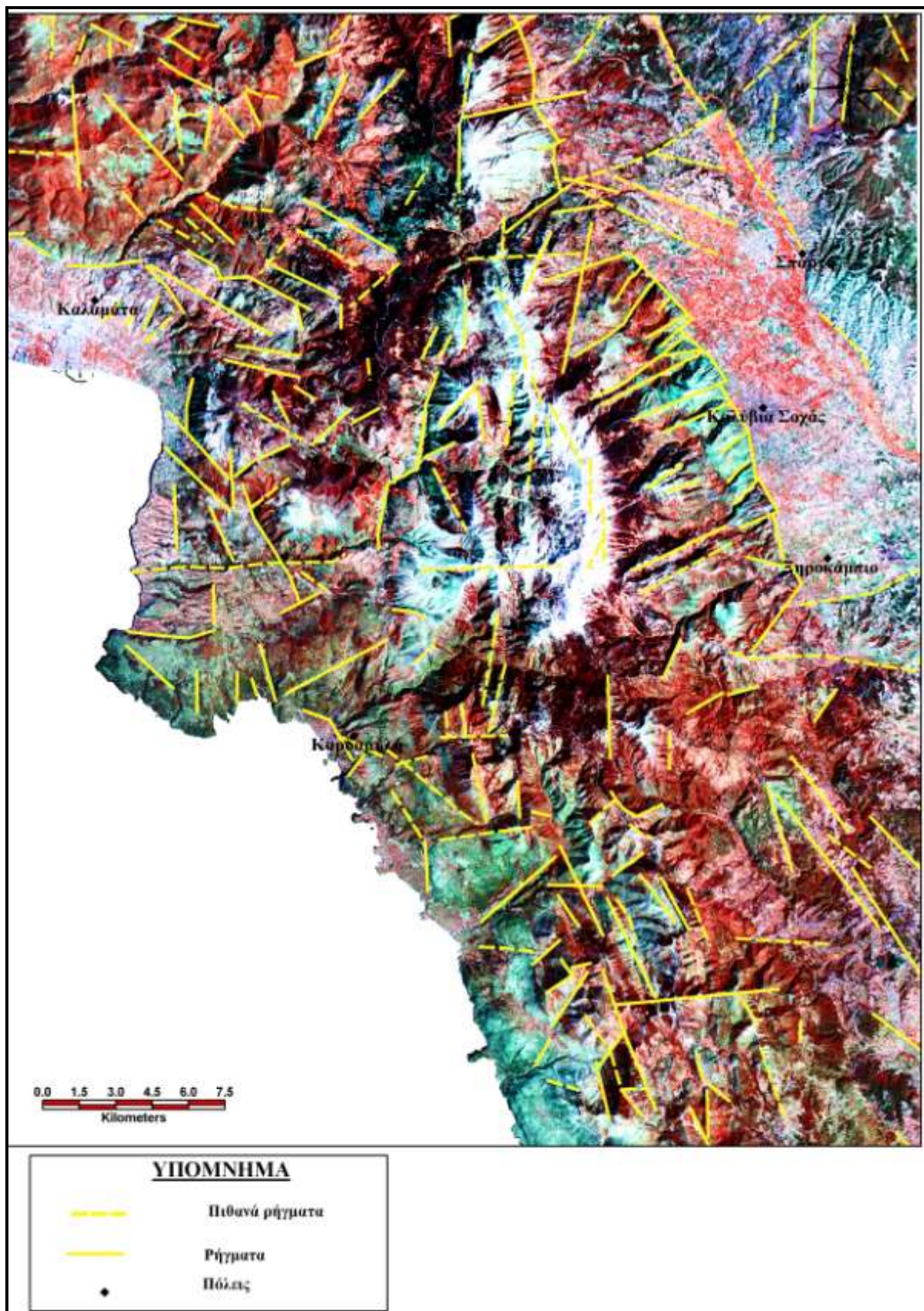
4.2.4 Ανάλυση ρηξιγενούς ιστού

Οι δορυφορικές εικόνες που επιλέχτηκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται στην ενότητα αυτή ως υπόβαθρο για τη ψηφιοποίηση των γραμμώσεων που παρατηρούμε. Συγκεκριμένα, ψηφιοποιήθηκε όποια γράμμωση φαινόταν ότι επηρεάζει τη γεωμορφολογία και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Ένα μέρος των γραμμώσεων, σύμφωνα με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής που αναφέραμε σε προηγούμενες ενότητες (βλ. 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4), συνδέονται με ρήγματα και πιο συγκεκριμένα με ενεργά ρήγματα. Ωστόσο, για κάποιες γραμμώσεις που δε ήμασταν

σίγουροι, τις ορίσαμε ως πιθανές και εμφανίζονται με διακεκομμένη γραμμή στις εικόνες που ακολουθούν (βλ .Εικόνα 4.35, 4.36).

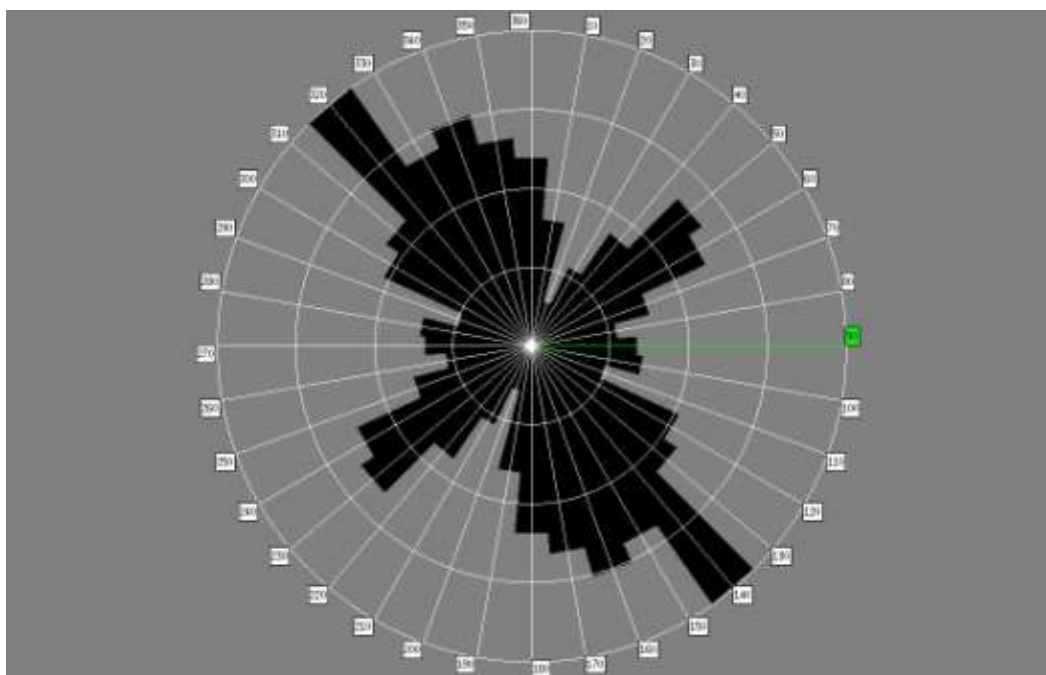


Εικόνα 4.35: Παρουσίαση ρηγμάτων με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα 742 RGB



Εικόνα 4.36: Παρουσίαση ρηγμάτων με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα 453 RGB

Η πλειοψηφία των ρηγμάτων, όπως παρουσιάζεται και στο ροδοδιάγραμμα που ακολουθεί (βλ. Εικόνα 4.37), έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Σύμφωνα με το Λαλεχό Σ. (1992) η διεύθυνση αυτή είναι η παλαιότερη σε ηλικία, ενώ η δεύτερη επικρατούσα διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ θεωρείται η νεότερη.



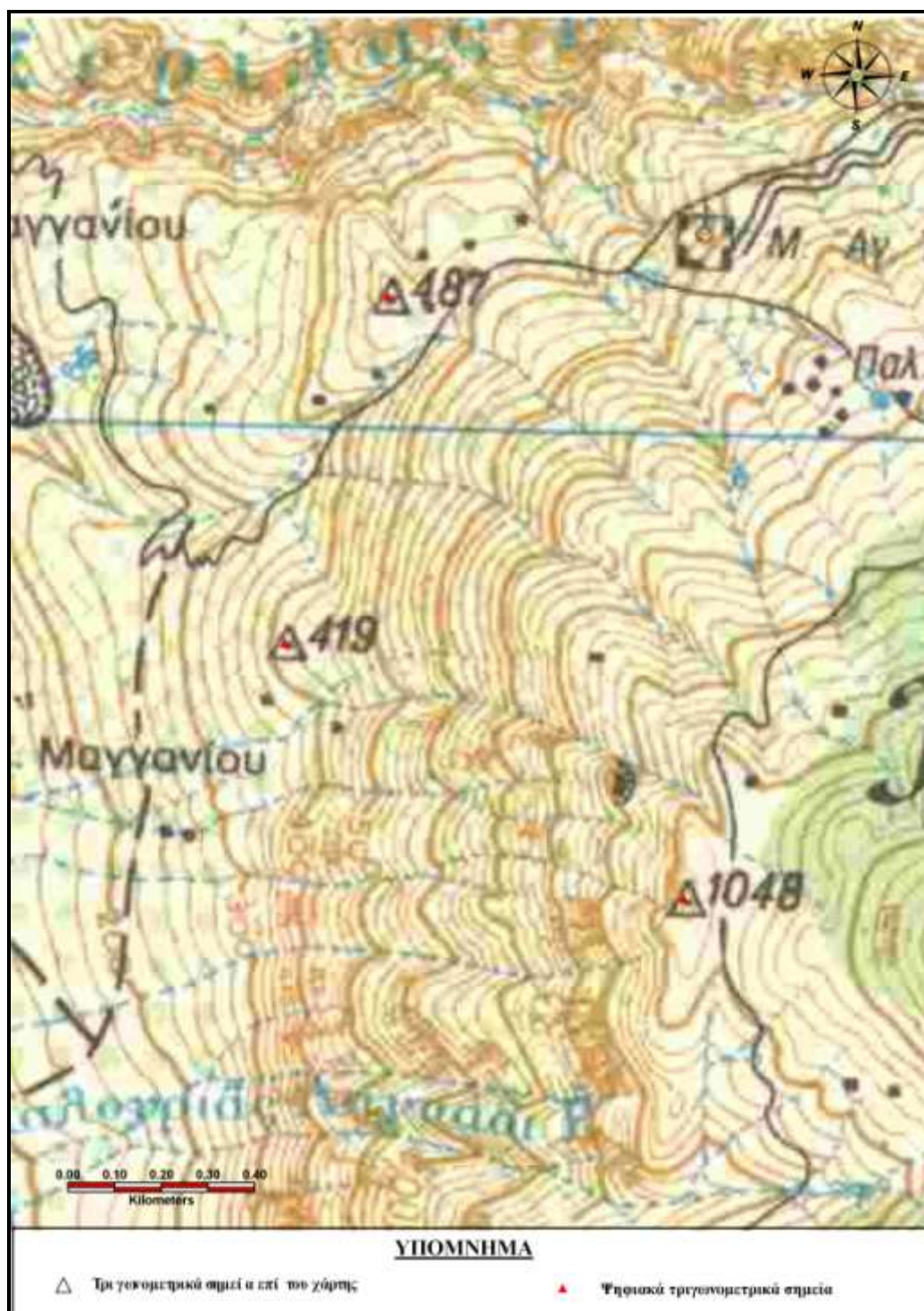
Εικόνα 4.37: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων των ρηγμάτων δορυφορικών εικόνων

4.3 Επεξεργασία και ανάλυση τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών

Για την υλοποίηση της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες, που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίοι επιλέχθηκαν σε κλίμακα 1: 50.000 ώστε να έχουν «παρόμοια» ακρίβεια με τις δορυφορικές εικόνες.

Πρώτο βήμα, για την επεξεργασία των χαρτών, είναι η σάρωση των τοπογραφικών και των γεωλογικών χαρτών που επιλέχθηκαν, οι οποίοι αποθηκεύτηκαν σε μορφή .tif (Tagged Image File Format- TIFF) και δεύτερο η γεωαναφορά (ή γεωμετρική διόρθωση) τους (βλ. ενότητα 4.1.5). Με τη βοήθεια του προγράμματος Erdas[®], αρχικά, εισάγαμε σε κάθε τοπογραφικό χάρτη τις συντεταγμένες από τις τέσσερις γωνίες του χάρτη και στη συνέχεια τα σημεία του κανάβου ΕΓΣΑ 87 (σε μέτρα) ώστε να αποκτήσουν γεωαναφορά. Επιλέξαμε αρχικά τα τέσσερα σημεία του χάρτη γιατί γνωρίζουμε ότι είναι σωστά μετρημένα λόγω της διανομής των χαρτών, ενώ τα σημεία του κανάβου χρησιμοποιήθηκαν για επαλήθευση. Έπειτα με βάση τους γεωαναφερόμενους πλέον τοπογραφικούς χάρτες έγινε γεωμετρική διόρθωση και στους γεωλογικούς. Σημειώνουμε ότι οι γεωλογικοί χάρτες γεωαναφέρθηκαν με την επιλογή σημείων από τις ισοϋψείς και τα ποτάμια γιατί βρίσκεται σε άλλο σύστημα συντεταγμένων (ED 50) από εκείνο των χαρτών της ΓΥΣ. Επίσης, στους γεωλογικούς χάρτες κάποια δεδομένα αφαιρούνται όπως το οδικό δίκτυο, τα τριγωνομετρικά σημεία κ.α.

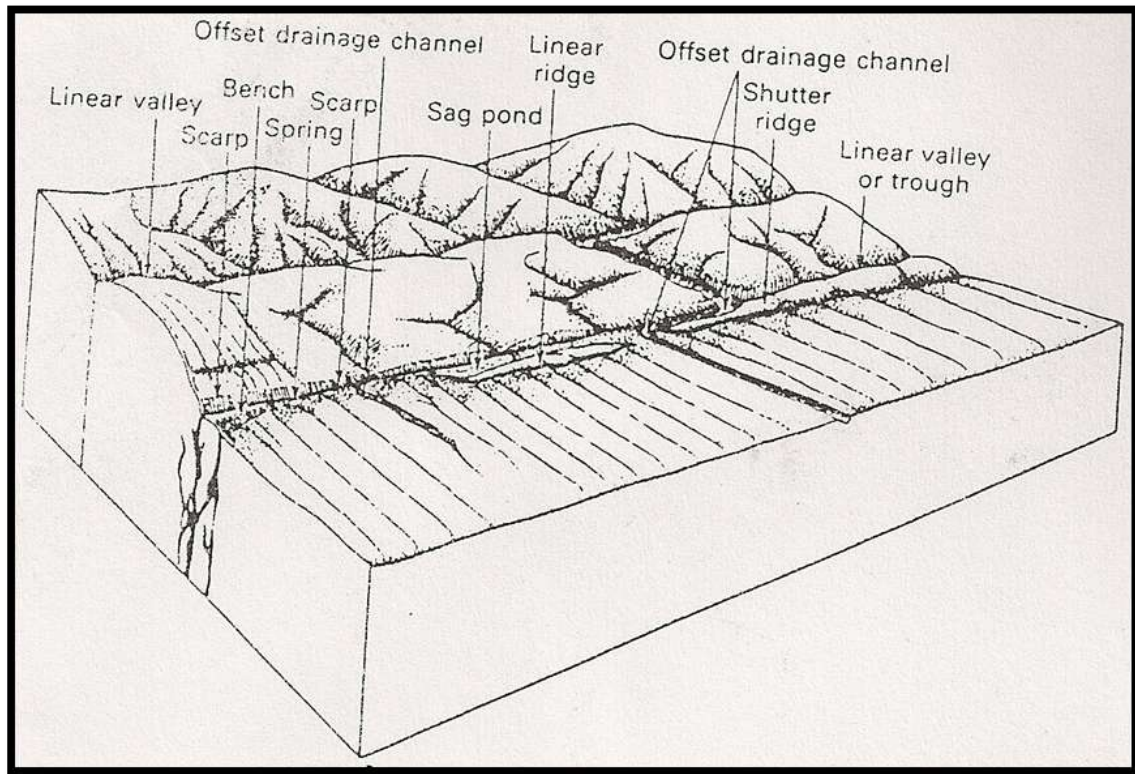
Στη διαδικασία αυτή σημαντικό σημείο είναι η ακρίβεια με την οποία γίνεται η γεωαναφορά. Το ανθρώπινο μάτι βλέπει από 1/4 του χιλιοστού του μέτρου στο χάρτη, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στα 12 μ. στο έδαφος στη κλίμακα 1:50.000, όπου δουλεύουμε στη συγκεκριμένη μελέτη. Όμως, οι χάρτες της ΓΥΣ, όπως αναγράφουν, έχουν από τη κατασκευή τους 25μ. σφάλμα στο οριζόντιο επίπεδο και 10μ. σφάλμα στα υψομετρικά. Επομένως, το σφάλμα της γεωαναφοράς μας πρέπει να είναι μικρότερο από τα 20-25μ. στο έδαφος. Ο πιο γνωστός τρόπος να επιβεβαιώσουμε ότι η γεωαναφορά μας είναι σωστή είναι η επιβεβαίωση στο πεδίο (ground truth). Στη συγκεκριμένη μελέτη η επιβεβαίωση έγινε με τα ψηφιακά τριγωνομετρικά σημεία που μας δόθηκαν από τον κ. Λαλεχό, τα οποία προέρχονται από τη ΓΥΣ και είναι αξιόπιστα. Δηλαδή, εισάγαμε στο Geomedia Professional[®] τους τοπογραφικούς χάρτες και τα ψηφιακά τριγωνομετρικά και παρατηρήσαμε ότι τα τριγωνομετρικά επί του χάρτη συμπίπτουν με τα ψηφιακά τριγωνομετρικά (βλ. Εικόνα 4.38).



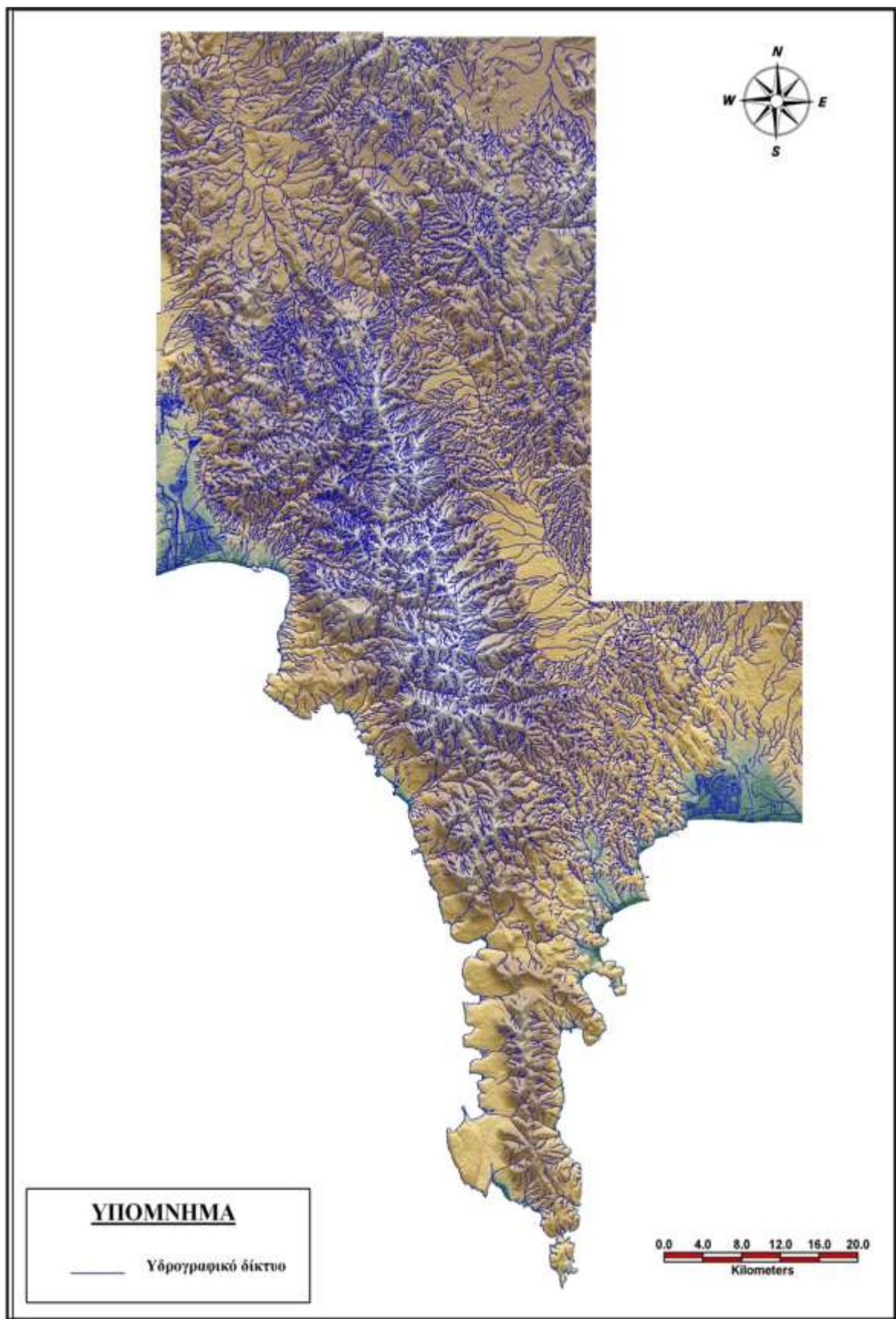
Εικόνα 4.38: Επιβεβαίωση γεωαναφοράς

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των παραπάνω χαρτών στο λογισμικό ΓΣΠ Geomedia Professional[®]. Οι τοπογραφικοί χρησιμοποιήθηκαν για τη ψηφιοποίηση των πολεοδομικών ορίων των πόλεων και των χωριών που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης, αλλά και για την ψηφιοποίηση του οδικού και υδρογραφικού δικτύου. Το υδρογραφικό δίκτυο

μπορεί να μας δώσει σημαντικές πληροφορίες για το ρηξιγενή ιστό μιας περιοχής γιατί, όπως έχει αποδειχτεί από τη διεθνή βιβλιογραφία, οι απότομες αλλαγές στη ροή ενός ποταμού μπορεί να οφείλονται στη δράση ενός ρήγματος (βλ. Εικόνα 4.39).

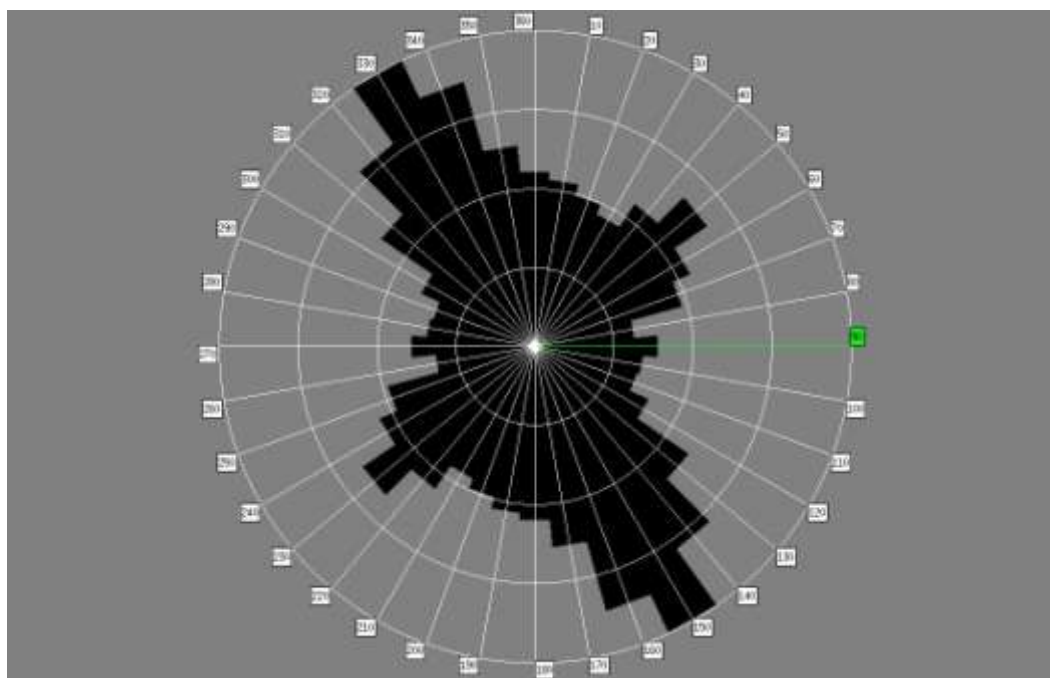


Εικόνα 4.39: Μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά ενεργού ρήγματος (Πηγή: Cooke R.U, 1997)



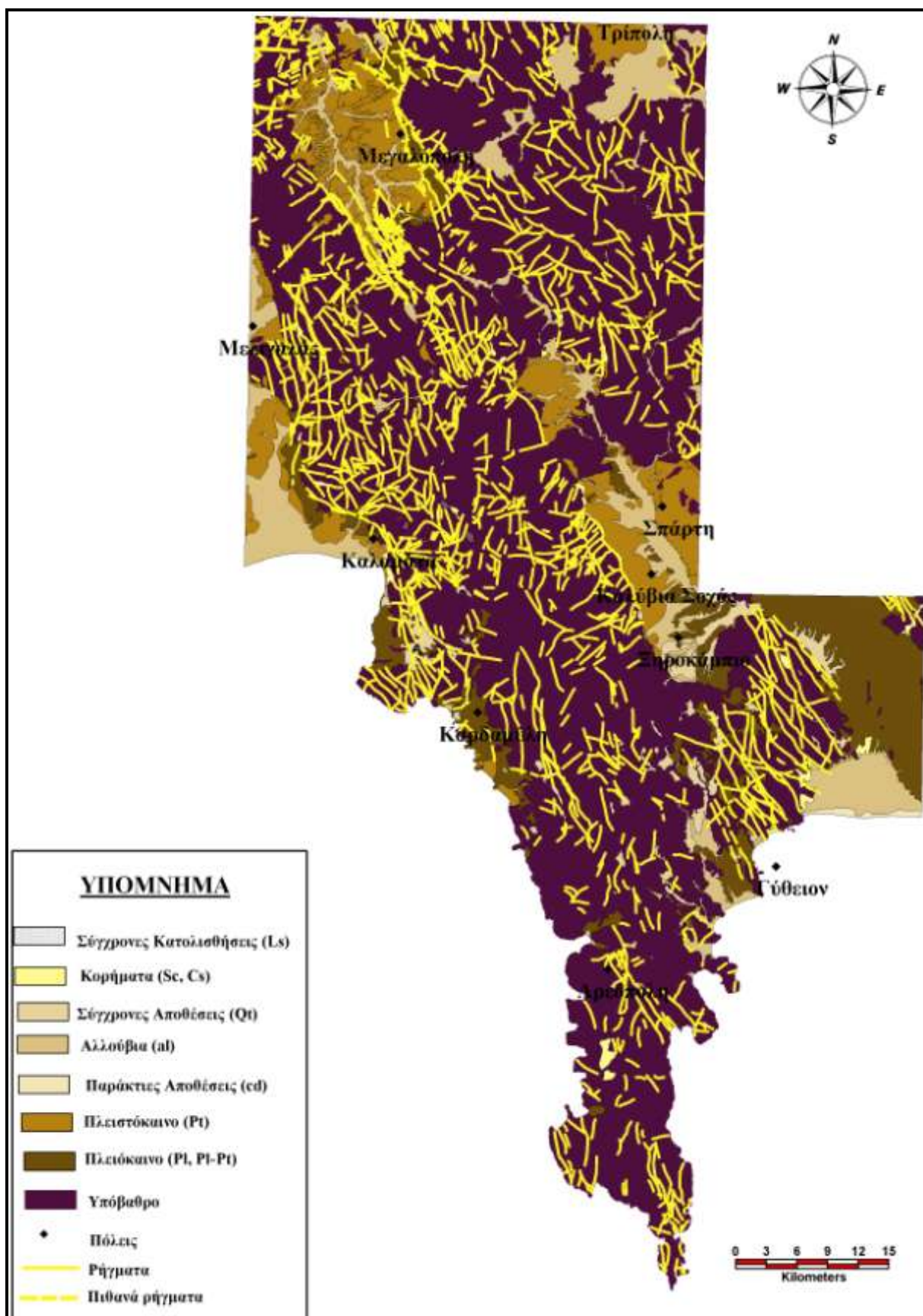
Εικόνα 4.40: Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης

Επίσης, οι γεωλογικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο για την ψηφιοποίηση των γεωλογικών ενοτήτων (στρωματογραφία) και των ρηγμάτων. Από τους χάρτες αυτούς, ψηφιοποιήθηκαν τα ρήγματα και τα πιθανά ρήγματα, και όχι οι επιπεύσεις και οι επωθήσεις. Στο αντίστοιχο ροδοδιάγραμμα των διευθύνσεων των ρηγμάτων παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση είναι ΒΔ-ΝΑ με δευτερεύουσα τη ΒΑ – ΝΔ.



Εικόνα 4.43: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων ρηγμάτων γεωλογικού χάρτη

Η στρωματογραφία δημιουργήθηκε με βάση την ηλικία των γεωλογικών ενοτήτων. Συγκεκριμένα, η ενότητα substratum (υπόβαθρο) περιλαμβάνει τους προαλπικούς και αλπικούς σχηματισμούς που αναφέραμε προηγουμένως, οι οποίοι ομαδοποιήθηκαν σε μία ενότητα. Στους μεταλπικούς σχηματισμούς συμπεριλαμβάνονται τα ιζήματα του: Πλειοκαίνου (μάργες και κροκαλοπαγή), Πλειστοκαίνου, παράκτιων αποθέσεων, αλλουβίων, σύγχρονων αποθέσεων και κορημάτων (βλ. Εικόνα 4.42).

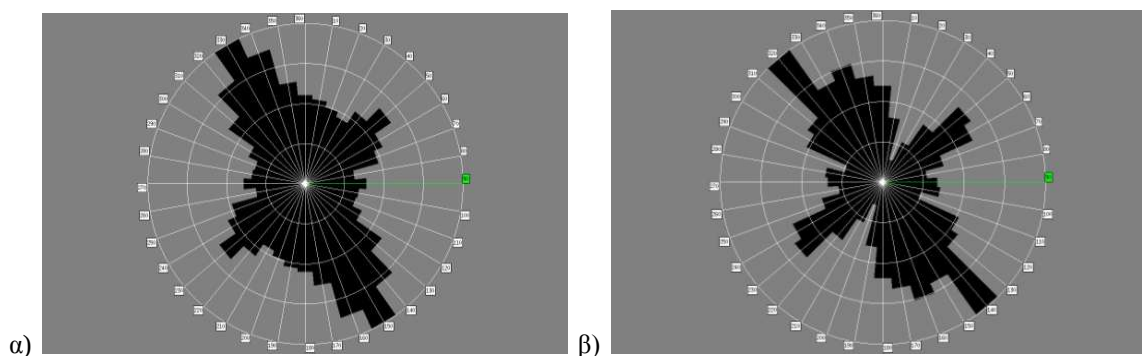


Εικόνα 4.42: Ψηφιοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης περιοχής μελέτης

4.4 Συνδυαστική Ερμηνεία

Από τη σύγκριση των ροδοδιαγραμμάτων των διευθύνσεων των ρηγμάτων (βλ. Εικόνα 4.43), προκύπτει ότι οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων που έχουν προκύψει από την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων συμπίπτουν με εκείνες των γεωλογικών χαρτών.

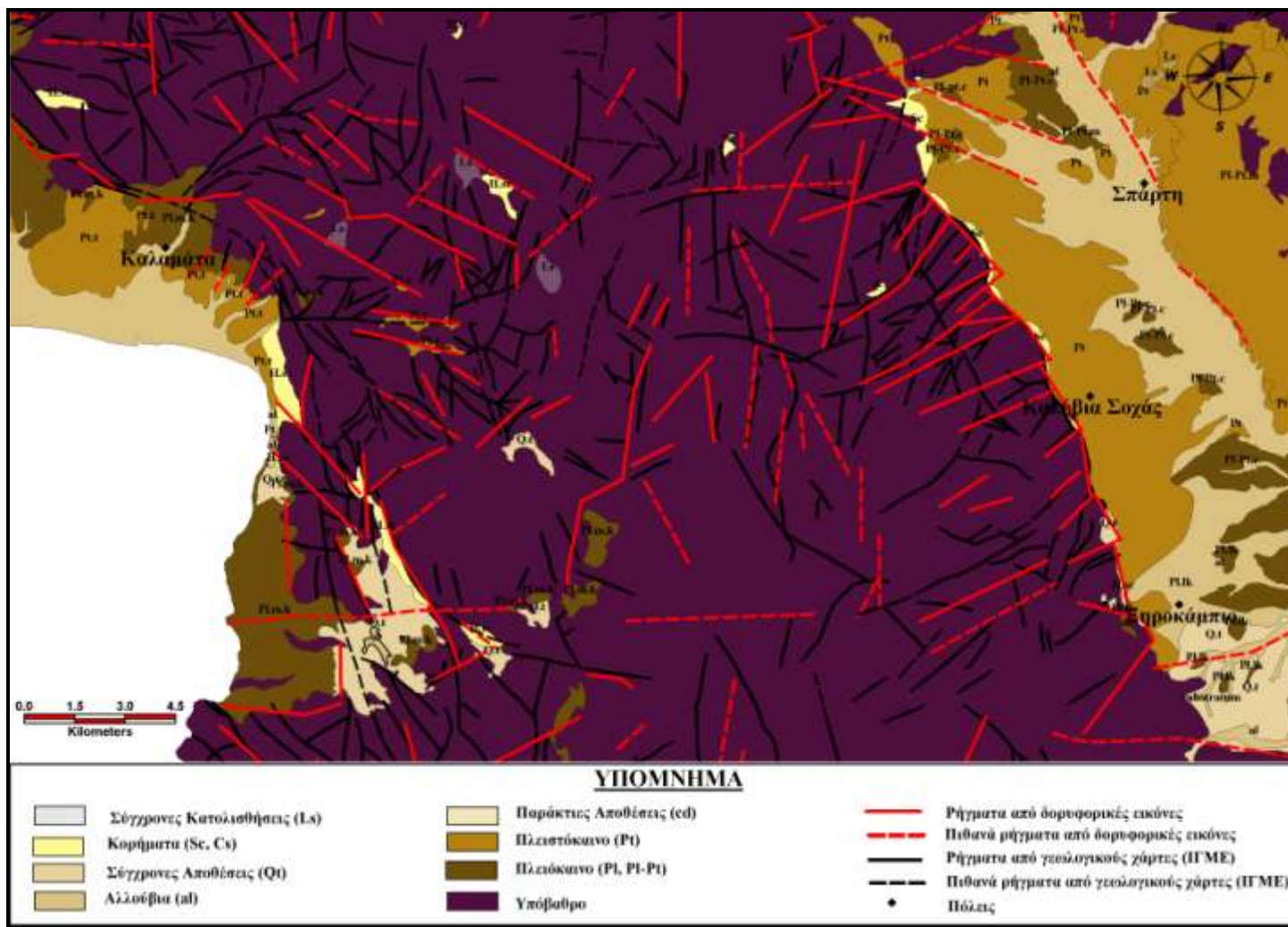
Παρατηρούμε ότι η μορφοτεκτονική άποψη της ανατολικής πλευράς (λεκάνη Λακωνίας) του Ταυγέτου διαφέρει από τη δυτική (λεκάνη Μεσσηνίας) (βλ. Εικόνα 4.35, 4.42, 4.44). Στην ανατολική πλευρά, μια ρηξιγενή ζώνη η οποία εμφανίζεται πολύ έντονα τόσο στις δορυφορικές εικόνες όσο και στους γεωλογικούς χάρτες, οριοθετεί καθαρά το δυτικό άκρο της μεταλπικής λεκάνης της Λακωνίας. Η ζώνη αυτή εμφανίζει μια συνέχεια από την περιοχή 7 χλμ βορειοδυτικά της Σπάρτης μέχρι το Ξηροκάμπιο προς τα νότια με συνολικό μήκος 15 χλμ περίπου και φέρνει σε επαφή το υπόβαθρο (ασβεστόλιθους) με τα μεταλπικά ιζήματα της λεκάνης αυτής. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη φαίνεται να συνεχίζει και βορειοδυτικότερα της Σπάρτης μέχρι τη Μεγαλόπολη (βλ. Εικόνα 4.35, 4.42, 4.45), όπου οριοθετεί το δυτικό άκρο της ομώνυμης τεταρτογενούς λεκάνης. Νότια του Ξηροκάμπιου, η ζώνη αυτή φαίνεται να χάνει τη συνέχειά της καθώς εκεί κλείνει η λεκάνη της Λακωνίας, όπως φαίνεται και στην τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου (βλ. Εικόνα 4.49).



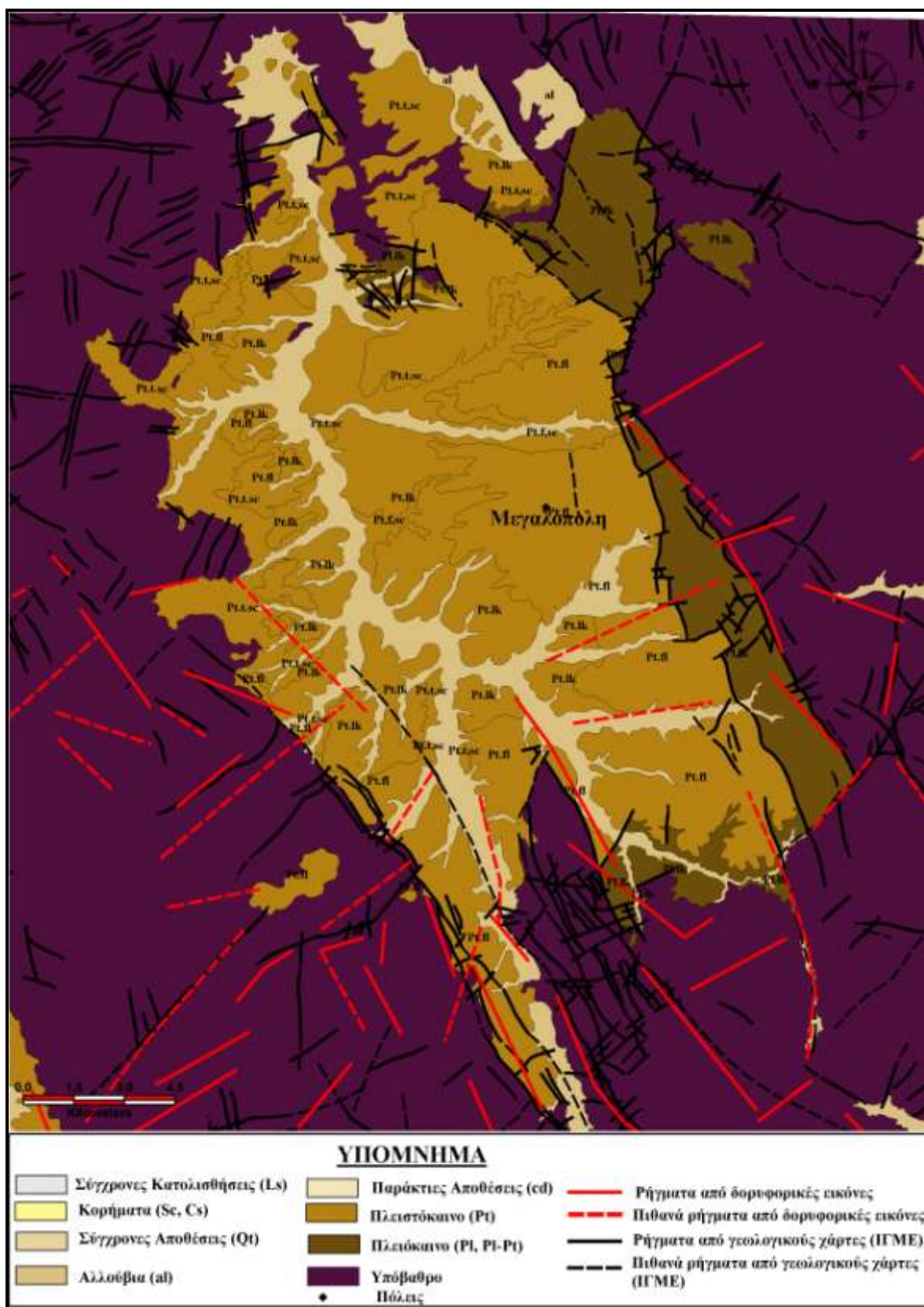
Εικόνα 4.43: Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων ρηγμάτων α) γεωλογικού χάρτη β) δορυφορικών εικόνων

Σε αντίθεση, στη χερσαία πλευρά της Μεσσηνίας δεν εμφανίζεται μια μορφολογικά συνεχής ρηξιγενή ζώνη, ούτε στις δορυφορικές εικόνες, ούτε στους γεωλογικούς χάρτες (βλ. Εικόνα 4.35, 4.42, 4.44). Το γεγονός αυτό φαίνεται και στις τρισδιάστατες απεικονίσεις του ανάγλυφου από το Google Earth (βλ. Εικόνα 4.50). Η περιοχή στην οποία φαίνεται να υπάρχει μια συνέχεια σαν όριο της λεκάνης της Μεσσηνίας, βρίσκεται

μεταξύ της Καλαμάτας και του Μελιγαλά, 20 χλμ περίπου βόρεια της Καλαμάτας, στα όρια όμως της περιοχής μελέτης. Νότια της Καλαμάτας, από την ευθύγραμμη μορφολογία της ακτής (βλ. Εικόνα 4.35, 4.42), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ρηξιγενής ζώνη που οριοθετεί το ανατολικό άκρο του Μεσσηνιακού κόλπου βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα.

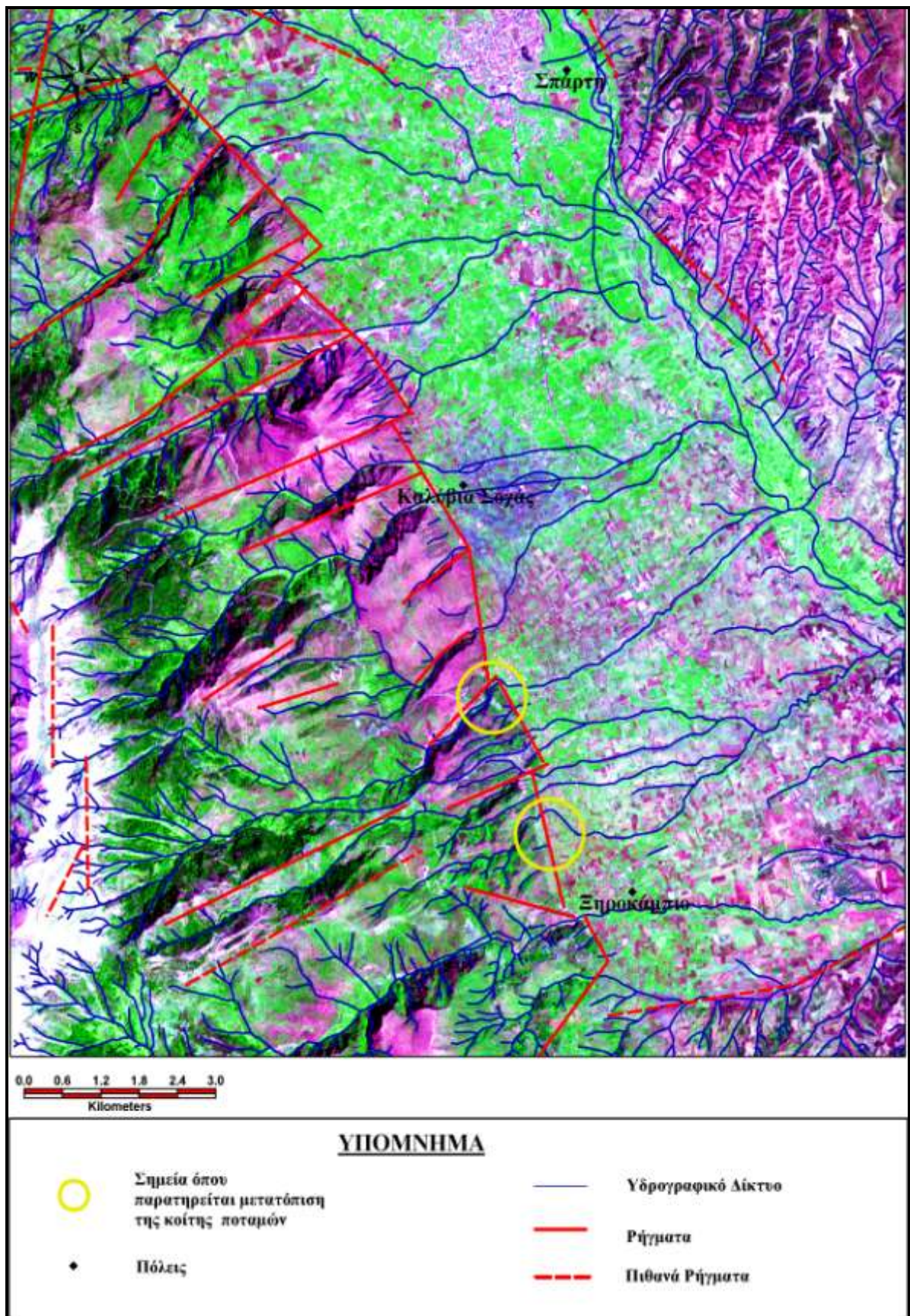


Εικόνα 4.44: Γεωλογικός χάρτης με τη συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες και τους γεωλογικούς χάρτες του (IGME)

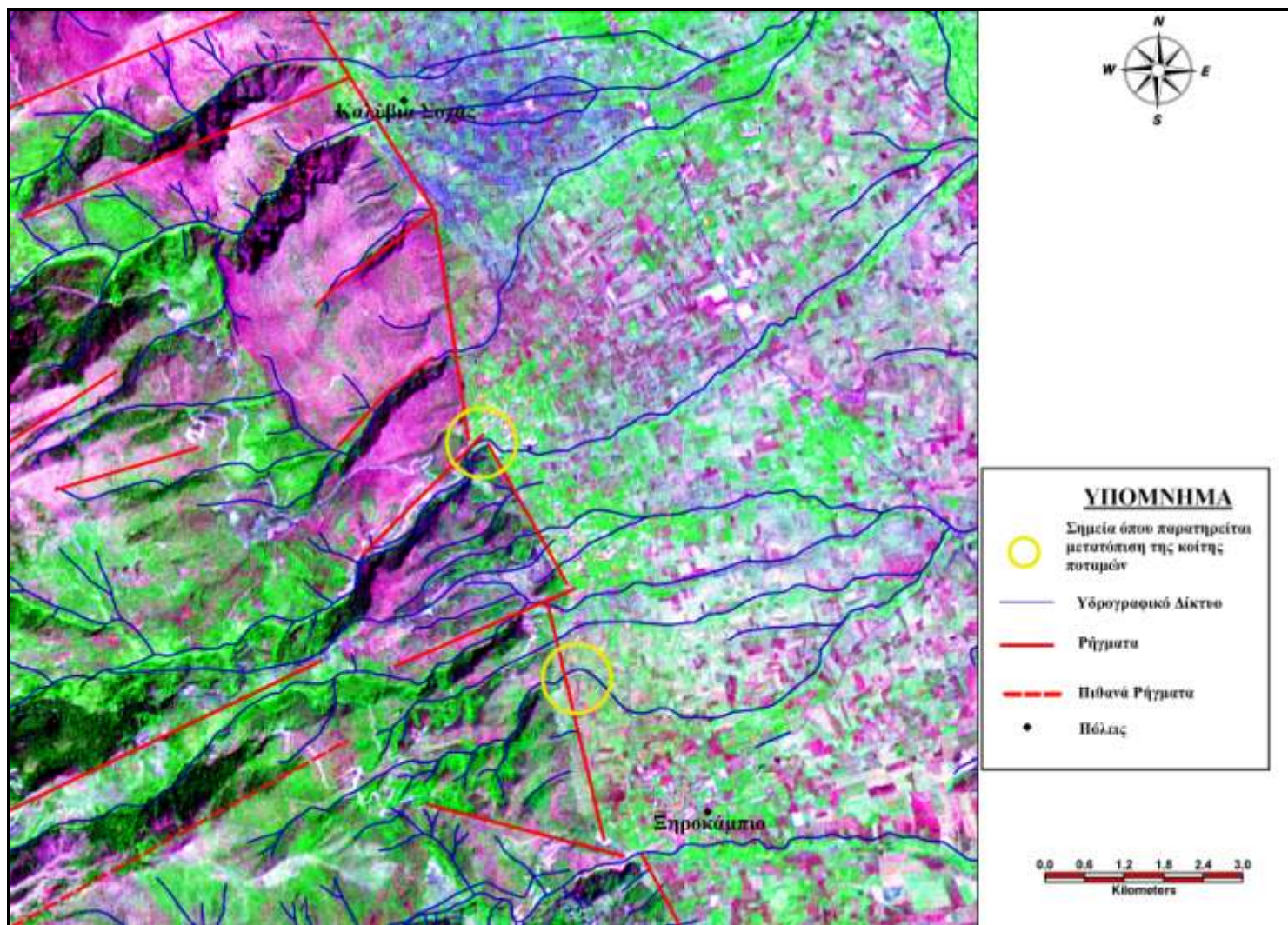


Εικόνα 4.45: Γεωλογικός χάρτης με τη συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες και τους γεωλογικούς χάρτες του (IGME) , περιοχή Μεγαλόπολης

Οι μετατοπίσεις του υδρογραφικού δικτύου, όπως προαναφέραμε, αποτελούν κριτήριο για την ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων. Κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης Σπάρτης - Ξηροκάμπιου (βλ. Εικόνα 4.46, 4.47) εντοπίζονται δύο σημεία όπου φαίνεται να μετατοπίζεται η κοίτη δύο παραπόταμων του Ευρώτα. Η μετατόπιση είναι της τάξεως των 160 μ. περίπου προς τα νότια. Επειδή, όπως έχει αποδειχθεί στο πεδίο, η βασική κίνηση της ρηξιγενούς αυτής ζώνης στο Τεταρτογενές είναι κανονική-πλαγιοκανονική (Lalechos S.,1992) με φορά προς τα νότια, η συγκεκριμένη μετατόπιση θα μπορούσε να αποτελεί ένδειξη πρόσφατης κίνησης του ρήγματος στη συγκεκριμένη περιοχή. Όμως, η μετατόπιση αυτή εντοπίζεται μόνο σε δύο σημεία και δεν φαίνεται να είναι συστηματική κατά μήκος της ζώνης αυτής, μια που παρατηρούμε αρκετούς άλλους παραπόταμους του Ευρώτα να διασχίζουν τη ρηξιγενή ζώνη χωρίς εμφανή αλλαγή στη διαδρομή τους. Μια πιθανή εξήγηση θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης των ρηγμάτων αυτών είναι κατακόρυφο.

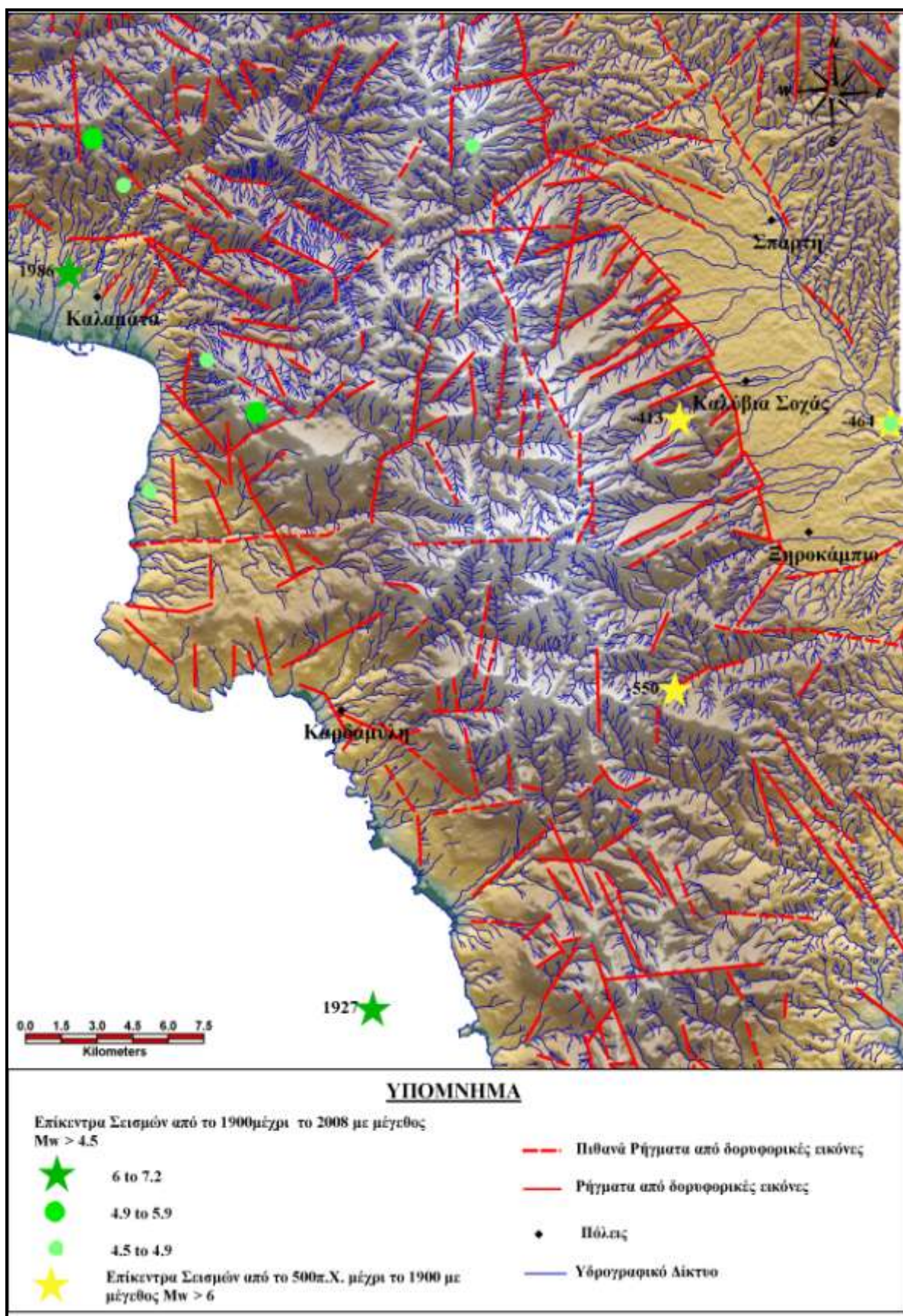


Εικόνα 4. 46 : Δορυφορική εικόνα 742 σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα από τις δορυφορικές εικόνες.

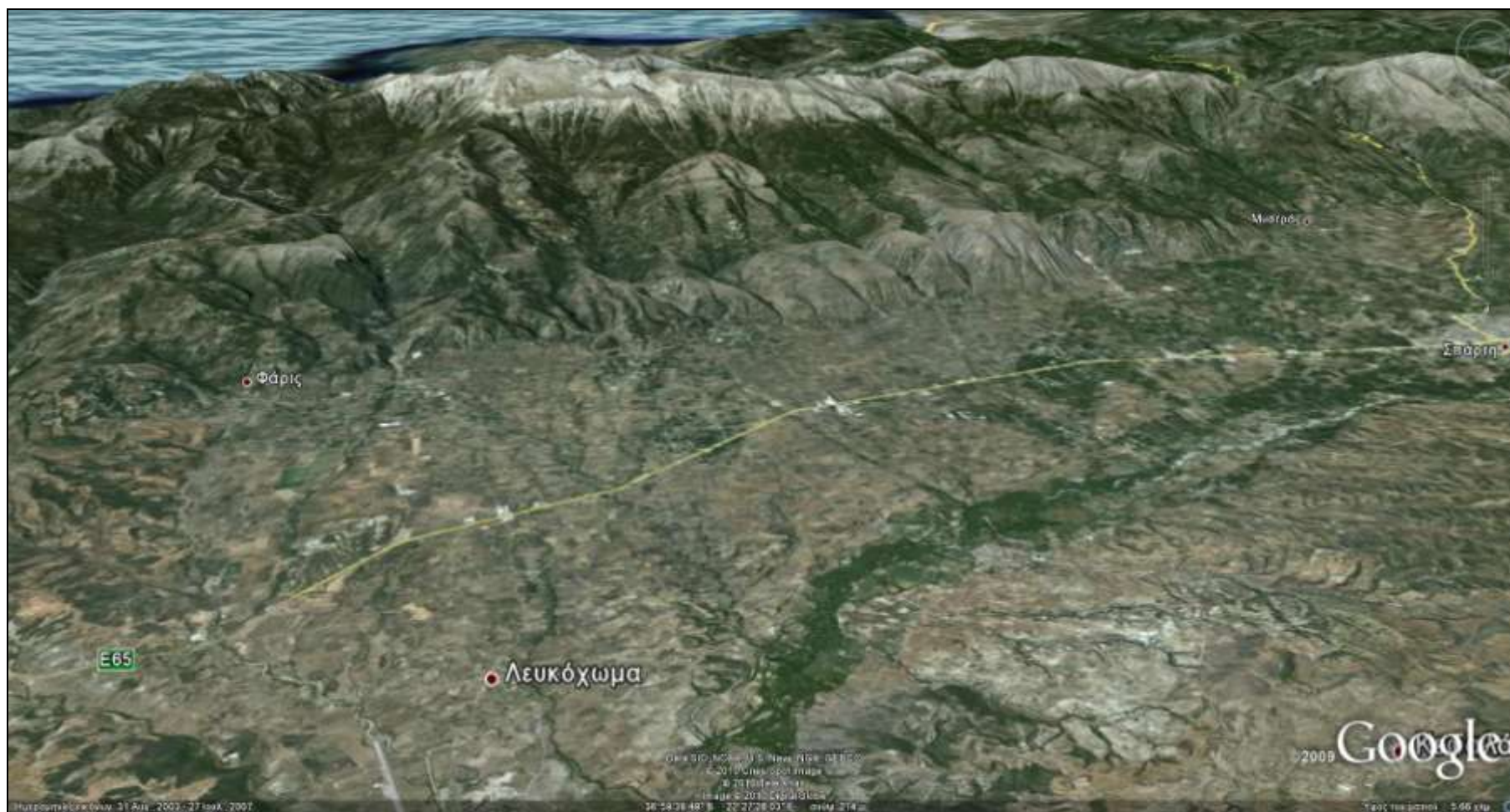


Εικόνα 4. 47:Λεπτομέρεια δορυφορικής εικόνας 742 σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα από τις δορυφορικές εικόνες.

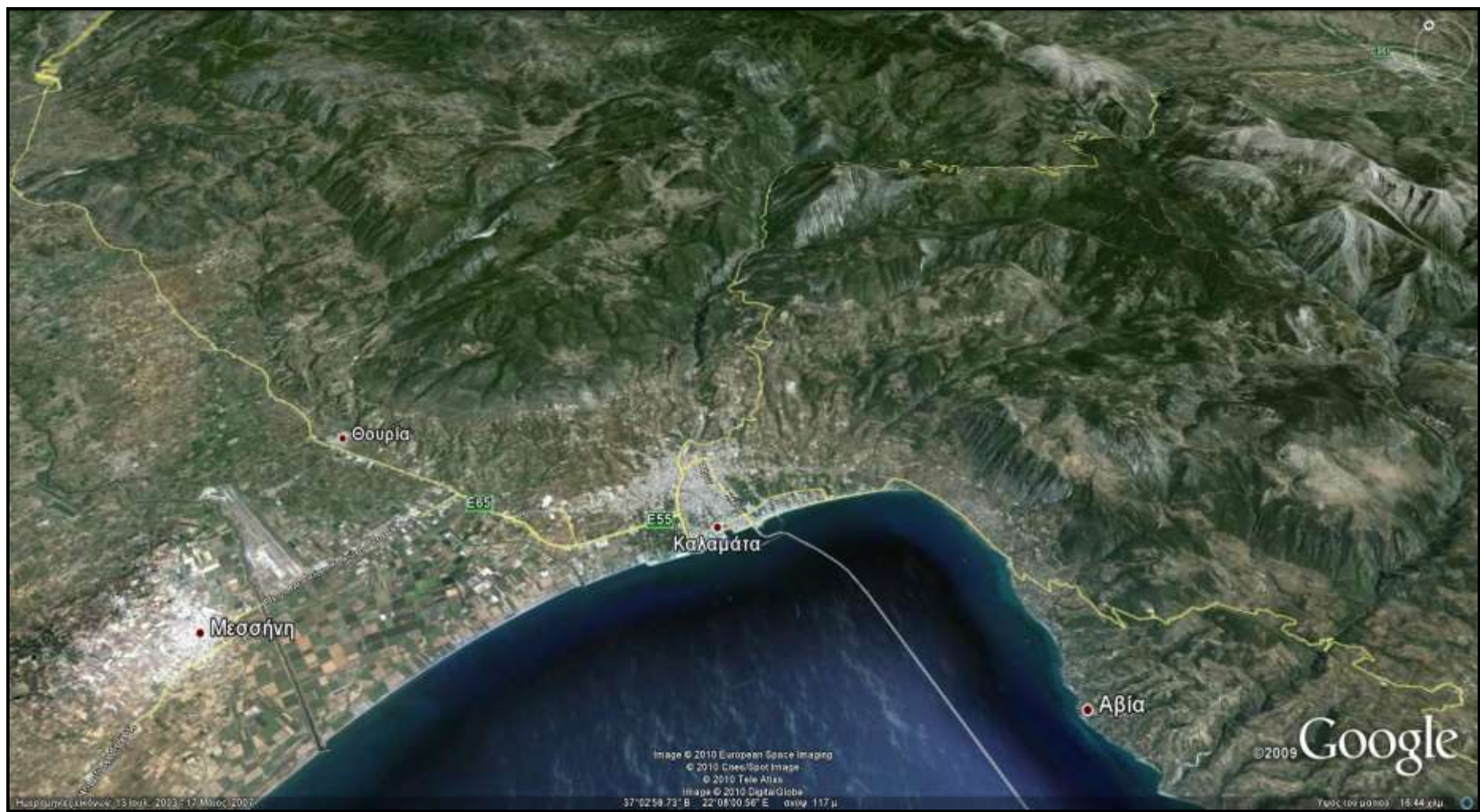
Η ρηξιγενής ζώνη Μεγαλόπολης - Σπάρτης - Ξηροκάμπιου φαίνεται να συσχετίζεται με τα επίκεντρα των ισχυρών και καταστροφικών ιστορικών σεισμών του 550 πΧ, 464 πΧ και 413 πΧ, με δεδομένη φυσικά την αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των επικέντρων αυτών (βλ. Εικόνα 4.8, 4.48). Φαίνεται επίσης να συσχετίζεται και με την πρόσφατη σχετικά (1934, 1965) σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή (βλ. Εικόνα 4.48), η οποία όμως είναι πολύ μικρή (λίγοι σε αριθμό και μικρού μεγέθους σεισμοί). Σε αντίθεση, η περιοχή της Μεσσηνίας εμφανίζει πολύ έντονη σεισμική δραστηριότητα στα νεώτερα χρόνια τόσο χερσαία όσο και υποθαλάσσια (βλ. Εικόνα 4.8, 4.48). Όμως, δεν φαίνεται να υπάρχει εύκολη συσχέτιση μεταξύ των επικέντρων των σεισμών που εντοπίζονται στο χερσαίο χώρο και κάποιας ρηξιγενούς ζώνης.



Εικόνα 4. 48: Συσχέτιση ρηγμάτων από τις δορυφορικές εικόνες με τη σεισμικότητα της περιοχής



Εικόνα 4. 49: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου από την ανατολική πλευρά του Ταϊγέτου (Πηγή: Google Earth 2009)



Εικόνα 4. 50: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου από την περιοχή της Καλαμάτας (Πηγή: Google Earth 2009)

5. Γενικά Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν το να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης των παθητικών συστημάτων τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών με σκοπό τον εντοπισμό ενεργών ρηξιγενών δομών. Σαν περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε η οροσειρά του Ταΰγετου λόγω της έντονης μορφοτεκτονικής δομής του. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθορίστηκε από τη διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία, η δε ερμηνεία των αποτελεσμάτων βασίστηκε και στη συνεισφορά των υπάρχοντων δεδομένων πεδίου από τη βιβλιογραφία (μετρήσεις των κινήσεων των ρηγμάτων) καθώς και της ανάλυσης της σεισμικότητας της συγκεκριμένης περιοχής.

Χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες του δορυφόρου Landsat ETM+ σε συνδυασμό με δεδομένα από τους τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες της περιοχής σε κλίμακα 1:50.000 καθώς και το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM), το οποίο προέρχεται από δεδομένα του δορυφόρου ASTER. Αποδείχθηκε ότι για την περιοχή μελέτης:

- Η χρήση των σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων, ιδιαίτερα των συνδυασμών 742 RGB και 453 RGB, σε συνδυασμό με την παγχρωματική εικόνα και το φίλτρο Edge Enhanced, αναδεικνύει πολύ έντονα τα γραμμικά στοιχεία (φωτογραμμώσεις).
- Η σύγκριση των φωτογραμμώσεων αυτών με τα ρήγματα των γεωλογικών χαρτών χρησιμεύει ως επιβεβαίωση πεδίου, έτσι ώστε να γίνει σωστά η αντιστοίχιση των φωτογραμμώσεων με ρήγματα.
- Η χρήση του συγκεκριμένου DEM βοήθησε στην ανάδειξη των μορφοτεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.
- Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου δεν βοήθησε ιδιαίτερα στον εντοπισμό των ρηξιγενών ζωνών, πιθανόν λόγω του γεγονότος ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης των ζωνών αυτών είναι πολύ μεγαλύτερη της οριζόντιας. Κατά συνέπεια, για να εντοπιστεί η αποτύπωση της οριζόντιας κίνησης στο υδρογραφικό δίκτυο, θα έπρεπε να γίνει η ανάλυση σε κλίμακα πολύ μικρότερη του 1:50.000 (πιθανόν 1:5.000).

- Τέλος, η ανάλυση της σεισμικότητας της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό με τα προηγούμενα δεδομένα, βοήθησε στον καθορισμό των σεισμικά ενεργών ρηξιγενών ζωνών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Μακροσεισμική κλίμακα Mercalli – Sieberg (Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ., 1989)

I	Καταγράφεται μόνο από τα σεισμολογικά όργανα
II	Αισθητός σε μερικούς σε ησυχία στους ψηλότερους ορόφους
III	Αισθητός σε λίγους στα σπίτια
IV	Αισθητός από πολλούς στα σπίτια, από μερικούς στην ύπαιθρο. Ξύπνημα λίγων. Φυγή λίγων στο ύπαιθρο. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες
V	Αισθητός από πολλούς στα σπίτια και στο ύπαιθρο. Ξύπνημα πολυάριθμων στο ύπαιθρο. Αιώρηση ελεύθερα κρεμασμένων αντικειμένων. Ήχηση κουδουνιών, ρολογιών. Ανατροπή μερικών αντικειμένων.
VI	Ήχηση μικρών καμπάνων. Ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων. Πτώση λίγων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες λίγες, ελαφρές.
VII	Ήχηση μεγάλων καμπάνων. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες μέτριες, πολλές. Μερική καταστροφή λίγων οικοδομών.
VIII	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή λίγων κτιρίων.
IX	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
X	Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
XI	Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων
XII	Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια

Πίνακας 2: Κατάλογος Παπαζάχου (Papazachos B.C. et al, 2000,2009)

DATE year/month/day	TIME hour/min/sec	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH (σε χλμ.)	Mw (Μέγεθος ροπής)
-550 0000	0	36.9	22.4	0	6.8
-464 0000	0	37	22.5	0	6.8
-413 0000	0	37	22.4	0	6
1750 0607	0	36.3	22.8	0	7.2
1842 0418	0	36.7	22.3	0	6.7
1846 0610	20000	37.15	22	0	6.6
1867 0920	0	36.73	22.6	0	6.8
1885 0328	0	37.1	22	0	6
1901 1025	161830	37	22.2	0	5.5
1901 1111	204000	37.5	22.5	0	4.8
1901 1224	231800	37.4	22	0	5.8
1903 0802	0	36.5	22.5	20	6
1903 0811	43254	36.36	22.97	80	7.2
1910 0603	42800	36.3	23	100	5
1911 0920	232428	37.5	22.5	0	5.3
1911 1008	12830	37	22	0	4.9
1913 0105	43428	37.5	22.2	0	5.3
1915 1231	194751	37.5	22.5	0	5.4
1925 1013	92939	36.7	22	0	5
1927 0214	44950	36.5	23	0	4.9
1927 0701	81854	36.78	22.26	0	7.1
1930 0923	203538	36.7	22	0	4.9
1931 0402	221640	37.4	22.2	0	4.5
1931 0630	102356	36.5	23	100	5.5
1934 0109	31700	37	22.5	0	4.6
1936 0114	151128	36.6	23.1	0	5.5
1944 0730	40035	36.6	22.3	0	6
1947 0311	170530	36.7	22	0	5.2
1947 0721	93621	36.7	22.5	0	5.3
1947 1007	190800	36.9	22	10	4.6
1948 0722	64655	36.9	22	0	5.1
1949 0917	113008	36.9	22.7	0	5
1950 0318	1025	36.7	22	0	4.5
1950 0322	205632	37.3	22.7	0	4.8
1950 1101	81034	36.9	22	0	4.5
1951 0404	11018	37	22.6	0	4.5
1952 0613	10722	37.3	22.1	0	5.2
1954 0330	43035	36.7	22.2	0	4.9

1954 0411	203026	37.4	21.6	0	4.5
1955 0413	204546	37.2	22.3	0	5.9
1956 0903	184057	36.4	22.4	0	4.7
1957 0710	233720	36.5	23	0	4.6
1958 0102	20814	36.2	22.3	0	5.7
1958 0306	54110	36.6	23	10	5.1
1959 0607	141728	37.2	22	0	4.5
1959 0816	184159	37.2	22	0	5.3
1959 1001	43747	37.3	21.9	0	4.6
1960 0814	125248	37.5	22	0	4.8
1960 0906	124810	36.4	22.8	0	4.5
1961 0221	30151	36.3	23	0	4.9
1961 0719	103927	36.3	22.5	0	4.5
1961 1002	72139	37	22	0	5.7
1962 0311	82736	37.5	22.5	0	4.5
1962 0731	12533	36.5	22.7	110	4.6
1964 1127	200234	36.9	22	0	4.5
1965 0115	145640	36.97	21.8	56	4.7
1965 0309	222357	36.2	22.6	33	4.8
1965 0323	165816	36.6	22.5	141	4.8
1965 0405	31255	37.3	22	0	6.1
1965 0407	41640	37.1	22.3	36	4.5
1965 0515	133436	37.4	21.9	0	4.6
1966 0514	230045	37	22	40	4.6
1966 0524	93926	37.3	21.9	34	5.2
1966 0524	110925	37.4	22	43	4.9
1966 0525	41007	37.2	21.8	0	4.5
1966 0605	205202	37.2	21.9	35	4.5
1966 0807	143046	36.3	22.3	49	4.5
1966 0810	152240	36.4	22.2	39	4.6
1966 0901	142257	37.39	22.14	9	6
1967 0313	174321	37.31	22.5	79	4.5
1968 0122	1944	36.2	22.6	57	5
1968 1108	171103	36.64	22.82	0	4.7
1969 0101	214130	36.5	23.1	47	4.5
1970 0423	42948	37.51	22.73	74	4.9
1971 0303	190101	36.45	22.29	67	4.5
1971 0526	70924.8	37.28	22.04	6	4.6
1971 0802	192226	36.89	21.98	64	4.6
1971 1016	71233	36.37	22.1	0	4.6
1971 1218	23329	36.78	23.02	15	4.6
1973 0522	152611.9	36.78	22.01	58	4.6

1974 0601	160711	36.17	22.46	65	4.5
1975 0421	202102.2	36.59	22.97	17	4.5
1975 0424	225817	37.48	22.6	67	4.9
1975 0917	230405.9	36.41	23.07	12	5.1
1976 0201	144607	36.12	22.28	59	4.6
1977 0830	205158.7	36.97	22.15	16	4.5
1979 1012	192920.3	36.7	23.04	26	4.6
1979 1201	133429.5	37.17	21.67	13	5
1981 0224	114127.48	37.083	22.135	2	4.5
1981 0320	153908	36.24	22.63	108	4.7
1981 0623	102410.06	36.637	22.716	2	4.6
1981 0923	201838.09	37.019	22.176	2	4.5
1982 0125	122200	36.52	22.07	82	4.5
1983 0224	175810.14	36.627	22.043	10	4.9
1984 1009	21222.5	37.08	21.71	2	4.5
1984 1009	43042.84	37.06	21.71	4	5.2
1984 1025	94918.04	37.06	21.74	2	5
1985 0523	160221.39	36.522	22.148	6	5.2
1985 0624	225327.22	36.54	22.159	3	4.8
1986 0222	211136	36.89	21.9	67	4.6
1986 0913	172434	37.05	22.11	0	6
1986 0915	114130.76	37.1	22.12	1	5.4
1988 1108	81755	36.65	22.65	63	5.1
1990 0808	3508.16	37.18	22.06	2	4.8
1990 0905	32352	36.4	22.81	111	4.7
1991 0601	54200.89	36.958	21.928	1	4.7
1992 0109	134524.48	36.22	22.76	5	4.9
1992 1030	45629.69	37.258	21.631	56	4.5
1993 0127	234102	36.21	22.43	117	5.4
1993 0912	234653.27	37.06	22.88	11	4.6
1994 1117	102000.09	36.441	22.177	0	4.5
1995 0124	180845.36	36.525	23.039	9	4.6
1996 0629	10903.49	36.351	23.179	6	4.5
1997 1013	133939	36.45	22.16	0	6.4
1997 1014	30438.78	36.473	22.311	6	4.7
1999 0308	51014.32	37.398	21.906	4	4.7
2000 0725	193359.12	37.29	22.028	0	5
2001 0609	12824.97	36.2	22.98	10	4.7
2001 0907	110518.6	36.27	22.59	59	4.5
2001 0916	20052.6	37.24	21.85	15	5.4
2001 1102	91433.5	36.2	22.287	33	4.5
2002 0617	44355	36.84	22.07	33	4.6

2002 0728	143557.3	37.49	22.02	10	4.5
2002 1209	93447.91	36.998	21.858	0	4.8
2003 0528	45736.85	36.34	23.17	80	4.5
2003 1227	212738.16	36.197	22.377	18	4.7
2004 0209	34814.4	36.16	22.415	40	4.9
2004 0301	3556.9	37.174	22.124	14	5.4
2004 1007	71652.46	36.417	22.578	70	4.8
2005 0320	5101.97	37.516	22.002	14	4.5
2005 0707	114507.8	36.324	23.054	19	4.7
2005 0916	100025.55	37.134	22.55	111	4.5
2005 1008	122024.79	36.363	23.006	24	4.5
2006 0111	103451.3	36.167	23.298	71	4.7
2006 0714	95714.6	37.27	22.3	42	4.5
2007 0310	75835.1	36.462	22.778	11	4.6
2007 0507	13438.03	37.371	22.124	33	5
2007 1006	33428.9	37.35	21.75	10	4.5
2008 0106	51420.18	37.216	22.693	75	6.2
2008 0111	125623	37.11	22.82	10	4.5
2008 0510	205304.2	36.3	22.24	57	5.5

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andermann C., Gloaguen R.,** (2009) “Estimation of erosion in tectonically active orogenies. Example from the Bhotekoshi catchment, Himalaya (Nepal)”, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 30, No. 12, 3075–309620
- Antonio E. Cameron-González,** (2004) “ Landsat TM processing in the investigation of active fault zones, South Lajas Valley Fault Zone and Cerro Goden Fault Zone as an example”, *Department of Geology, University of Puerto Rico*
- Barrett C. Eric, Gurtis F. L.,** (1992) “Introduction to Environmental Remote Sensing”, Third Edition, *Chapman & Hall.*
- Bhosle Balaji, Parkash B., Awasthi A. K.,** “Delineation of an active fault using DTM in the western Gangetic Plain”, *Current Science*, Vol. 90, No. 7, 10 April 2006
- Bhosle Balaji, Parkash B., Awasthi A. K., Singh V.N., Singh Satvindar,** (2007), “Remote sensing-GIS and GPR studies of two active faults, Western Gangetic Plains, India”, *Journal of Applied Geophysics* 61, 155–164
- Caputo Riccardo; Pavlides B. Spyros,** (2008), “Earthquake geology: Methods and applications”, *Elsevier, Tectonophysics* 453, 1–6
- Cambrézy Luc, Zaiss Rainer, Beaudou Alain, Souris Marc,** (2003), “Geographical Information system, Environment and Camp Planning in Refugee Hosting Areas : Approach, Methods and Application in Uganda”, *IRD - Institut de recherche pour le développement*
- Chandra Shekhar Dubey, Dericks Shukia** (2008), “Active tectonics and origin of Tso Morari Lake observed by Remote sensing and GIS techniques”, *Himalayan Journal of Sciences*, Vol. 6, ISSUE 7 (special issue)
- Cooke, R.U.** (1997), “Geomorphology in environmental management”, *2nd Edition, Oxford University Press*
- Dalati Moutaz,** (2006), “Early Warning System is needed for Earthquakes disaster mitigation in Syria. Case Study: Detecting and Monitoring the Active faulting zones along the Afro-Arabian-Syrian Rift System”, *Third International Conference on Early Warning, Bonn, Germany*
- Drury S.A.,** (1987) “Image Interpretation in Geology”, *Allen and Unwin, London* 1987
- Dubey C. S., Shukla D. Pr.,** (2008), “Active tectonics and origin of Tso Morari Lake observed by Remote sensing and GIS techniques”, 23RD *Himalayan - Karakoram-Tibet Workshop, INDIA*

- Ganas A.**, (1998), “Mapping of active faults in the Lokris region (central Greece) using Spot DEM data”, *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXII/1*, 173-179, Πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Πάτρα, Μάιος 1998
- Ganas A., Stavrakakis G., Lagios E., Papadopoulos G., Pavlides S.**, (2001), “Investigation of the seismic fault that ruptured during the 7/9/99 Athens earthquake using space techniques ”
- Gibson J. P.** (with contribution to the text from Clare H. Power), (2000), “Introduction remote sensing: principles and concepts”, *London; New York: Routledge*
- Fu B.; Lin A.**, (2003), “Spatial distribution of the surface rupture zone associated with the 2001 Ms 8.1 Central Kunlun earthquake, northern Tibet, revealed by satellite remote sensing data”, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 24, no. 10, 2191–2198
- Kaya Ş., Müftüoğlu O.**, (2004), “Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anatolian Fault zone, Turkey”, *International Journal of Remote Sensing*, VOL. 25, NO. 19, 3843–38510
- Lalechos S.** (1992). “Etudes néotectoniques et sismotectoniques dans le Péloponnèse méridional (Grèce). Relations avec la géodynamique plio-quaternaire de l’Arc Egéen.” *Thèse, Université Paris XI*, Orsay, pp.263.
- Lalechos S., Metaxas Ch., Karvela V. & Stefouli M.**, (2010) «East Taygetos fault zone (Peloponnesus, Souther Greece): dormant fault zone bordering awake neotectonic structur», XIX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association. In press
- Lalechos S., Metaxas C., Stefouli M., Karvela V** (2010), «Seismogenic faults bordering Taygetos horst (Peloponnesus, southern Greece): Unbalanced geodynamic pair», European Seismological Commission 32nd General Assembly. In press
- Lillesand M. Thomas, Kiefer W. Ralph**, (1999) “Remote Sensing and Image Interpretation”, Fourth Edition, *John Wiley & Sons, Inc.*
- Papanastassiou D.; Gaki-Papanastassiou K.; Maroukian H.**, (2005), “Recognition of past earthquakes along the Sparta fault (Peloponnesus, southern Greece) during the Holocene, by combining results of different dating techniques”, *Journal of Geodynamics* 40 189–199
- Parcharidis Issaak; Kokkalas Sotiris; Fountoulis Ioannis; Michael Foumelis**, (2009), “Detection and Monitoring of Active Faults in Urban Environments: Time Series Interferometry on the Cities of Patras and Pyrgos (Peloponnese, Greece)”, *Remote Sensing*: 676- 696

- Papazachos, B.C., Kiratzi, A.A., Karacostas, B., Panagiotopoulos, D., Scordilis, E., and Mountrakis, D.M.,** (1988) “Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of the September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece)”. *Pageoph*, 126, 55-68
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, Ch.A, Papazachos, C.B. and E.M. Scordilis** (2000), “A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999”, *Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki*, 1, 333pp. (<http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>)
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F. and C.B. Papazachos** (2009), “A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 – 2008”, *Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki*. (<http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>)
- Papoulia J.; Makris J.,** (2004) “Microseismicity and active deformation of Messinia, SW Greece”, *Journal of Seismology* 8: 439–451
- Philip G.,** (2007) “Remote sensing data analysis for mapping active faults in the northwestern part of Kangra Valley, NW Himalaya, India”, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 28, No. 21, 4745–4761
- Pidwirny M.,** (2006), “Introduction to Geographic Information Systems”, Second Edition, *Fundamentals of Physical Geography*
- Pirasteh S.; Woodbridge K.; Rizvi S. M. A.,**(2009), “Geo-information technology (GiT) and tectonic signatures: the River Karun & Dez, Zagros Orogen in south-west Iran”, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 30, No. 2, 20 January 2009, 389–403
- Ramasamy S.M,** (2006), “Remote sensing and active tectonics of South India”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 20, 20 October 2006
- Songmuang Rattakorn, Charusiri Punya, Choowong Montree, Won-In Krit, Takashima Isao, Kosuwan Suwith,** (2007), “Detecting Active Faults Using Remote-Sensing Technique : A Case Study in the Sri Sawat Area, Western Thailand”, *Science Asia* 33: 23-33
- Syed Ahmad Ali, Saied Pirasteh,** (2004), “Geological applications of Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) data and Geographic Information System (GIS): mapping and structural interpretation in south-west Iran, Zagros Structural Belt”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 21, 4715–4727
- Tronin A.A,** (2006), “Remote Sensing for Earthquake Exploration”, *Scientific Research Center for Ecological Safety*

Vinod Kumar K., Martha T. R., Roy P.S., (2006), Mapping damage in the Jammu and Kashmir caused by 8 October 2005 M_w 7.3 earthquake from the Cartosat-1 and Resourcesat-1 imagery, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 27, No. 20, 4449-4459

Voulgaris N.; Parcharidis I.; Pahoula M; Pirlis E., (2004), “Correlation of Tectonics, Seismicity and Geothermics of Lesbos Island Using Remote Sensing Data and Geographical Information Systems”, *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXVI*, 2004, Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004

ΓΥΣ (1991), Τοπογραφικός Χάρτης Ξηροκάμπιο 1:50.000

ΓΥΣ (1992), Τοπογραφικός Χάρτης Γύθειο 1:50.000

ΓΥΣ (1992), Τοπογραφικός Χάρτης Σπάρτη 1:50.000

ΓΥΣ (1991), Τοπογραφικός Χάρτης Γερολιμίν 1:50.000

ΓΥΣ (1992), Τοπογραφικός Χάρτης Μεγαλόπολη 1:50.000

ΓΥΣ (1992), Τοπογραφικός Χάρτης Καλαμάτα 1:50.000

ΓΥΣ (1991), Τοπογραφικός Χάρτης Καρδαμύλη 1:50.000

ΓΥΣ (1991), Τοπογραφικός Χάρτης Μαυροβούνι 1:50.000

ΓΥΣ (1991), Τοπογραφικός Χάρτης Κολλίναι 1:50.000

ΓΥΣ (1992), Τοπογραφικός Χάρτης Αρεόπολη 1:50.000

ΙΓΜΕ (1982), Γεωλογικός χάρτης Καρδαμύλη 1:50.000

ΙΓΜΕ (2002), Γεωλογικός χάρτης Κολλίναι 1:50.000

ΙΓΜΕ (1984), Γεωλογικός χάρτης Μαυροβούνιο – Αρεόπολη - Γερολιμίν 1:50.000

ΙΓΜΕ (1990), Γεωλογικός χάρτης Σπάρτη 1:50.000

ΙΓΜΕ (1997), Γεωλογικός χάρτης Μεγαλόπολη 1:50.000

ΙΓΜΕ (1986), Γεωλογικός χάρτης Καλαμάτα 1:50.000

ΙΓΜΕ (1983), Γεωλογικός χάρτης Ξηροκάμπιον 1:50.000

ΙΓΜΕ (1989), Γεωλογικός χάρτης Γύθειο 1:50.000

ΙΓΜΕ (1983), Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας 1:500.000

Κατσιακάτσος Γ. Χ., (1992), “Γεωλογία της Ελλάδας”, Αθήνα

Μιγκίρος Γ., Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι., Γατσής Ι., Ψωμιάδης Ε., (2003), “Τηλεπισκόπηση, Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες”, Σημειώσεις εργαστηρίου Ορυκτολογίας- Γεωλογίας *Τομέας Γεωλογικών Επιστημών & Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Παπαζάχος Β& Παπαζάχου Κ., (1989), “Οι σεισμοί της Ελλάδας”, *Εκδόσεις ΖΗΤΗ*, Θεσσαλονίκη

Παπαζάχος Β& Παπαζάχου Κ., (2003), “Οι σεισμοί της Ελλάδας”, *Γ' Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ*, Θεσσαλονίκη

Παπανικολάου Δ., Μεταξάς Χ., Παρχαρίδης Ισ. Βασιλοπούλου Σ., Βασιλάκης Ε. , (2000), “Διαστημικές Τεχνολογίες και Γ.Σ.Π. για την παρακολούθηση τους σεισμικού κινδύνου σε ενεργές τεκτονικές δομές. Συνέργεια στις εφαρμογές των Διαστημικών Τεχνικών και των ΓΣΠ με σκοπό την συνεισφορά πληροφόρησης προς τους υπεύθυνους για την λήψη των αποφάσεων”, *ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ*

Παρχαρίδης Ισ., (2007), “ Ειδικά Θέματα Τηλεπισκόπησης (Εργαστηριακές Σημειώσεις)”, *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας*

Ρόκος Ε., Ανδρώνης Β., (2004), “Χρήση GIS και μεθόδων τηλεπισκόπησης για τη μελέτη γεωλογικών προβλημάτων: Η περίπτωση της τεκτονικής τάφρου της Σητείας”, *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI*, 2004, Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004

Στεφανάκης Ε., (2003), “Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών”, *Εκδόσεις Παπασωτηρίου*

Χαλκιάς Χρ., (2005) “Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών Ι (Συμπληρωματικές Σημειώσεις) ”, *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας*

➤ Ιστοσελίδες

- <http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>
- http://el.wikipedia.org/wiki/Αρχείο:Remote_model.jpg
- <http://kaffee.50webs.com/Science/images/Electromagnetic-Spectrum2.jpg>
- http://www.rsgisrs.com/rs_types.htm
- <http://www.astronomia.org.gr/files/arismil/arissat.pdf>
- <http://www.cartographie.ird.fr/refugies/biblio-uganda.html>
- <http://www.madmappers.com/msdetails/AsterDEM.htm>
- <http://spatialnews.geocomm.com/features/childs4/>
- <http://www.consrv.ca.gov/CGS/rghm/ap/index.htm>
- <http://earthquake.usgs.gov/regional/qfaults/>
- <http://www.mani.org.gr/taigetos/>
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taygetos_relief_map-de.png